

Baumer Begriffsdefinitionen von Sensoreigenschaften

Geltungsbereich

Dieses Dokument erläutert Eigenschaften von Sensoren, insbesondere die in technischen Daten verwendeten Begriffe. Es soll dem Anwender ermöglichen die in Datenblättern angegebenen Informationen entsprechend seinen Anforderungen bewerten zu können.

Die gemachten Angaben dürfen nicht als Spezifikation verstanden werden und Baumer übernimmt keine Verantwortung für die bereitgestellten Informationen.

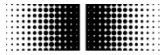
Hinweis: Abschnitt 4.2 auf Seite 52 enthält ein alphabetisch sortiertes Stichwortverzeichnis.

Inhalt

1	Merkmale von Sensoren	4
1.1	Messkette	4
1.1.1	Messgrösse	4
1.1.2	Anregung des Sensorelements	4
1.1.3	Messwert	4
1.1.4	Übermittlung des Messwertes	4
1.1.5	Auswertung von Sensorsignalen	5
1.2	Sensor-Signalverarbeitung	5
1.3	Prüf- und Abgleichvorgänge	6
1.3.1	Kalibrieren	6
1.3.2	Justieren	7
1.4	Benutzerschnittstellen	7
1.4.1	Indikationsanzeige	7
1.4.2	Display	7
1.4.3	Bedienelemente	8
2	Technische Daten von Sensoren	9
2.1	Leistungsmerkmale	9
2.1.1	Messbereich	9
2.1.2	Messspanne	9
2.1.3	Full-Scale (FS)	9
2.1.4	Ausgabebereich	9
2.1.5	Messabweichung	10
2.1.6	Temperaturdrift	15
2.1.7	Langzeitdrift	17
2.1.8	Totzeit	17
2.1.9	Anstiegszeit	17
2.1.10	Sprungantwortzeit	17
2.1.11	Ansprechzeit	18
2.2	Prozessbedingungen	18
2.2.1	Prozesstemperatur	18
2.2.2	Prozessdruck	19
2.2.3	Eignung für CIP/SIP	20
2.3	Prozessanschluss	20
2.3.1	Anschlussvarianten	20
2.3.2	Prozessberührendes Material	21



2.4	Oberflächenrauheit (in Kontakt mit Medium).....	21
2.5	Umgebungsbedingungen	22
2.5.1	Arbeitstemperaturbereich	22
2.5.2	Lagertemperaturbereich	22
2.5.3	Schutzart.....	22
2.5.4	Luftfeuchtigkeit.....	23
2.5.5	Umgebungseinflüsse	24
2.5.6	Isolationswiderstand	24
2.6	Ausgangssignal	24
2.6.1	Stromausgang	24
2.6.2	Spannungsausgang.....	26
2.6.3	Schaltausgang	26
2.7	Schnittstellen	27
2.7.1	IO-Link Schnittstelle.....	27
2.7.2	HART® Schnittstelle	28
2.8	Gehäuse	29
2.9	Elektrischer Anschluss.....	29
2.10	Speisung.....	30
2.10.1	Betriebsspannungsbereich	30
2.10.2	Stromaufnahme	30
2.10.3	Verpolungsschutz	30
2.10.4	Hochlaufzeit	30
2.11	Werkseinstellungen	31
2.12	Explosionsschutz	31
2.12.1	Eigensicherheit (Ex i).....	31
2.12.2	Schutz durch Gehäuse (Ex t)	31
2.12.3	Nichtfunkendes Betriebsmittel (Ex nA).....	31
2.12.4	Erhöhte Sicherheit (Ex ec).....	31
2.13	Konformität und Zulassungen.....	32
2.13.1	CE (Conformité Européenne).....	32
2.13.2	EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)	32
2.13.3	Sicherheit.....	33
2.13.4	Lebensmittel und Getränke	34
2.13.5	Maritime	35
2.13.6	Bahnanwendungen.....	35
2.14	Prüfbescheinigungen	36
2.14.1	Werksbescheinigung «Typ 2.1»	36
2.14.2	Werkszeugnis «Typ 2.2»	36
2.14.3	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 «Typ 3.1».....	36
2.15	Kalibrierdokumente.....	36
2.15.1	Kalibrier-Protokoll	36
2.15.2	Kalibrier-Zertifikat.....	36
3	Spezifische Definitionen von Messtechnologien	37
3.1	Druckmessung.....	37
3.1.1	Definition von Druck	37
3.1.2	Einheiten für Druck	37
3.1.3	Umrechnungstabelle für Druckeinheiten	39
3.1.4	Druckarten	39
3.1.5	Druckbereiche ausserhalb des Messbereichs.....	40
3.1.6	Turn-Down	41
3.1.7	Einfluss der Einbaulage.....	42
3.2	Füllstandsmessung.....	43



- 3.2.1 Einheiten für Standhöhe43
- 3.2.2 Einheiten für Füllmengen.....43
- 3.2.3 Hydrostatische Füllstandsmessung.....43
- 3.3 Durchflussmessung44
- 3.3.1 Definition von Volumenstrom.....44
- 3.3.2 Einheiten der Durchflussmessung.....45
- 3.3.3 Umrechnungstabelle für Volumeneinheiten.....45
- 3.4 Leitfähigkeitsmessung46
- 3.4.1 Definition von spezifischer Leitfähigkeit46
- 3.4.2 Einheiten für die spezifische Leitfähigkeit46
- 3.4.3 Umrechnungstabelle von Leitfähigkeitswerten.....46
- 3.4.4 Temperaturkompensation47
- 3.4.5 Leitfähigkeiten von verschiedenen Medien48
- 3.5 Temperaturmessung49
- 3.5.1 Definition von Temperatur.....49
- 3.5.2 Einheiten für Temperatur49
- 3.5.3 Umrechnungstabelle °C / °F49
- 3.5.4 Thermische Ansprechzeit von Temperatursensoren50
- 4 Anhang51**
- 4.1 Abbildungsverzeichnis51
- 4.2 Stichwortverzeichnis52
- 4.3 Weiterführende Literatur55
- 4.3.1 «Baumer Leitfaden für Hydrostatische Füllstandsmessung»55
- 4.3.2 «Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen»55
- 4.3.3 «Baumer Leitfaden für Schaltausgänge»55
- 4.3.4 «Baumer Leitfaden für Explosionsschutz»55
- 4.3.5 «Publikationen zu IO-Link».....55
- 4.3.6 «Publikationen zu HART®»55
- 4.4 Dokumentations-Historie55

1 Merkmale von Sensoren

1.1 Messkette

Abb. 1 zeigt die im Weiteren verwendeten Glieder der Messkette eines Sensors.

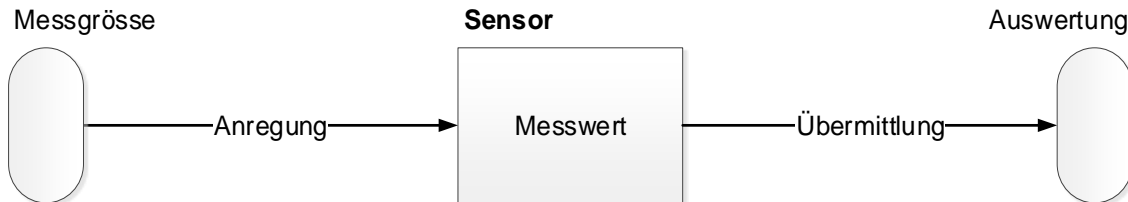


Abb. 1: Prinzipschaltbild der Messkette eines Sensors

1.1.1 Messgröße

Die Messgröße ist der zu messende physikalische Wert, also z. B. Temperatur oder Druck.

1.1.2 Anregung des Sensorelements

Die Anregung ergibt sich durch Anlegen einer physikalischen Messgröße an den sensitiven Teil des Sensors. Bei einem Temperatursensor ist diese die Temperatur des Mediums welches das Sensorelement umgibt, bei einem Drucksensor der auf die Membrane wirkende Druck.

1.1.3 Messwert

Der vom Sensor durch Wirkung der Anregung gemessene und aufbereitete Wert ist der Messwert. Ein Sensor mit Mikroprozessor ermittelt diesen numerisch mit einer physikalischen Einheit, ein rein analoger Sensor verarbeitet ihn direkt als Strom- oder Spannungssignal. Bei schaltenden Sensoren (z. B. Druck- oder Füllstandsschaltern) ist der am Ende ermittelte Messwert rein binär mit den logischen Zuständen 0 und 1.

1.1.4 Übermittlung des Messwertes

Das Ausgangssignal übermittelt den Messwert an die Auswertung. Typische Signalformen sind:

Signalform	Beispiele
Analogsignal	4 ... 20 mA, 0 ... 10 V
Digitalsignal	IO-Link, CAN, Modbus, RS485
Gemischtes Analog-/Digitalsignal	HART
Drahtlose Standards	Bluetooth, IO-Link Wireless, Wireless HART

Sensoren können ihren Messwert gleichzeitig mit mehreren Ausgangssignalen übermitteln (z. B. Dual-Channel bei IO-Link mit Analogausgang).

Mit Digitalsignalen lassen sich zusätzliche Informationen ausgeben, wie z. B. weitere Messwerte oder Diagnoseinformationen.

Bei Parametrierung empfangen Sensoren Daten von einem Programmierwerkzeug oder einer Steuerung; die Schnittstelle arbeitet hier bidirektional.

1.1.5 Auswertung von Sensorsignalen

Anwendungen für die Auswertung von Sensorsignalen sind:

Anwendung	Beispiele
Automatisierung	SPS (Speicher-Programmierbare-Steuerung)
Regelung	Füllstand, Satteldampfdruck, Raumtemperatur
Visualisierung	Leuchte, Display, Bildschirm
Alarmierung	Übertemperatur, Druck zu niedrig, Trockenlauf Pumpe

Gemischte Anwendungen sind z. B. die Regelung über eine SPS (zentral oder dezentral) und Visualisierung im Prozessleitsystem.

1.2 Sensor-Signalverarbeitung

Beispiele für verwendete Technologien von Sensoren zur Signalverarbeitung sind:

- analoge diskrete und integrierte Schaltungen
- digitale integrierte Schaltungen
- Mikrocontroller mit Software
- Analog-Digital-Wandler (ADC) und Digital-Analog-Wandler (DAC)
- ASICs (application specific ICs) wie Signalkonditionierer und Schnittstellenbausteine

Das Sensorelement wandelt die Anregung durch die Messgröße in ein elektrisches Signal. Bei der heutzutage üblichen digitalen Signalverarbeitung generiert ein Analog-Digital-Wandler (ADC) daraus einen Digitalwert. Diesen verarbeitet ein Mikrocontroller durch Linearisierung, Temperaturkompensation und Skalierung zum digitalen Messwert. Ein optional im Sensor integriertes Display oder ein Digitalausgang verwendet direkt diesen digitalen Messwert. Für ein analoges Ausgangssignal erzeugt ein Digital-Analog-Wandler (DAC) wieder ein analoges Signal (siehe Abb. 2).

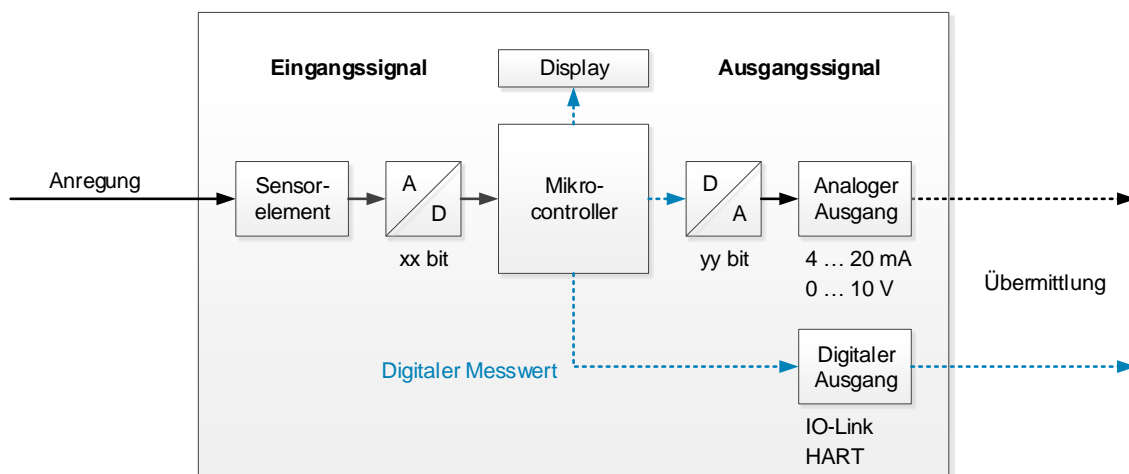


Abb. 2: Schema einer digitalen Sensor-Signalverarbeitung mit Analog- oder Digitalausgang

Die Spezifikationen für die Genauigkeiten des Eingangs- und Ausgangssignals können getrennt angegeben sein. Diese beinhaltet optional auch die Angabe der Bit-Auflösungen vom ADC (xx) und DAC (yy). Bei analoger Ausgabe sind deren Abweichungen wie Linearität und Temperaturabhängigkeit zusätzlich zu berücksichtigen. Bei digitaler Signalausgabe, z. B. über IO-Link, interessiert nur die Genauigkeit des Eingangs, da ein digitales Ausgangssignal nicht mehr verfälscht wird.

Beispiel für einen Temperaturtransmitter mit Analogausgang:

Eingangssignal	
Sensorelement	Pt100
Max. Messabweichung (-200 ... 200 °C)	0,05 °C
Temperatur-Koeffizient (Umgebungstemperatur)	≤ 0,01 °C/K
Auflösung	17 bit

Ausgangssignal	
Stromausgang	4 ... 20 mA, 2-Leiter
Genauigkeit	0,025 % FSR
Temperatur-Koeffizient (Umgebungstemperatur)	≤ 0,01 %/K
Auflösung	14 bit

1.3 Prüf- und Abgleichvorgänge

1.3.1 Kalibrieren

Unter Kalibrieren versteht man die Feststellung von Messabweichungen (siehe 2.1.5) eines Prüflings (z. B. Sensor) zu einer Referenzmessung (z. B. akkreditiertes Labormessgerät). Ein Kalibrierprotokoll bildet diese Daten ab, siehe Beispiel in Abb. 3. Ein Kalibrieren verändert den Sensor nicht, d. h. er erfährt keinen Eingriff, weder hardware- noch softwaretechnisch. Die Anwendung (z. B. SPS) kann Kalibrierdaten verwenden, um systematische Abweichungen zu korrigieren. Dies ist für jedes Sensorexemplar eigens durchzuführen, ebenso bei dessen Austausch im Servicefall.

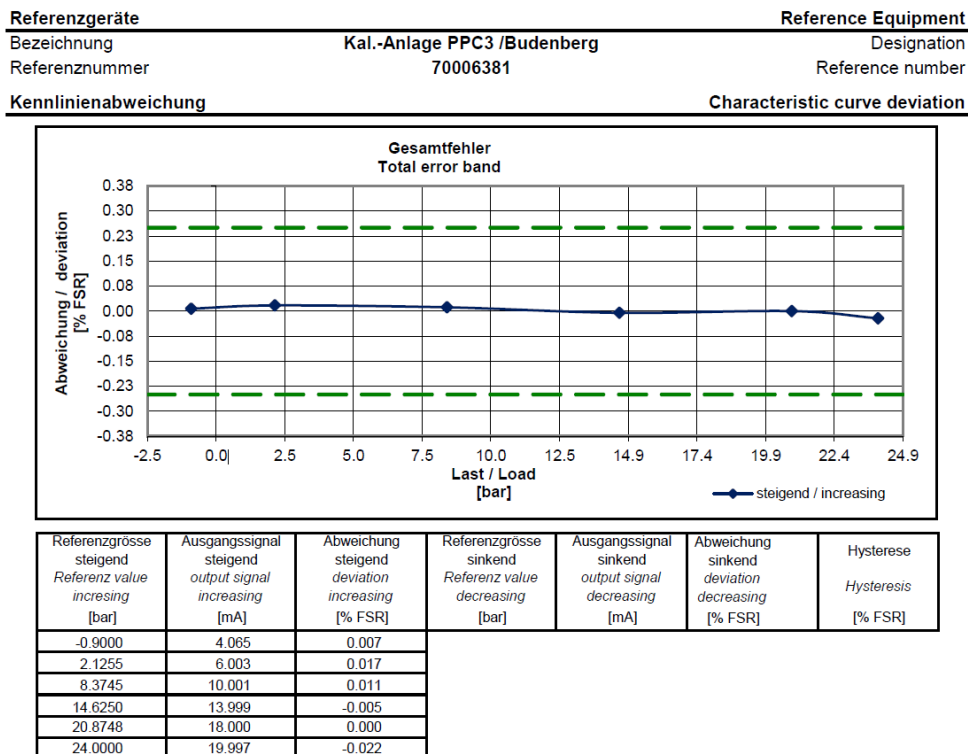


Abb. 3: Beispiel eines Kalibrierprotokolls für einen Drucksensor

1.3.2 Justieren

Justieren korrigiert die festgestellten Messabweichungen im Sensor. Es geschieht ein Eingriff, normalerweise softwaretechnisch durch hinterlegen einer Korrekturtabelle oder einer Rechenvorschrift (z. B. polynomiale Funktion). Eine Kalibriertabelle, die bei verschiedenen Temperaturen ermittelt und dem System als Korrekturtabelle vorliegt, kann Temperaturabhängigkeiten kompensieren, siehe 2.1.6.1 und 2.1.6.2.

1.4 Benutzerschnittstellen

1.4.1 Indikationsanzeige

Eine oder mehrere LEDs signalisieren verschiedene Zustände, z. B. «Betriebsspannung ok» oder «Füllstandsschalter hat Medium erkannt». Mehrfarbige LEDs können ihre Leuchtfarbe dynamisch anpassen. Damit lassen sich mehrere Zustände auch aus grösserer Entfernung komfortabel erkennen. Die allgemein übliche Auswahl von Farben zu Signalzuständen beschreiben die Richtlinien NE 107 und EN 60073:

Farbe	Signalzustand
Grün	Betriebsspannung ok, normaler Betriebszustand
Grün blinkend	Wartungsbedarf
Blau	Wartungsbedarf, proprietäre Indikation
Gelb	Schaltzustand oder Warnung
Rot	Ausserhalb der Spezifikation, Fehler, Gefahr
Rot blinkend	Funktionskontrolle (Messwert ungültig/eingefroren)

1.4.2 Display

Grundsätzliche Technologien von Displays für Sensoren sind:

- LED-Segmente (meist Siebensegment)
- LCDs mit Segmenten, Piktogrammen, Punktmatrix oder gemischt, optional mit Hintergrundbeleuchtung

Beide Technologien können Diagnoseinformationen mit verschiedenen Farben darstellen, bei LED mit Segmentfarben und beim LCD mit der Hintergrundbeleuchtung.



Abb. 4: Beispiel einer Siebensegment-LED-Anzeige anhand eines Drucksensors

LCDs mit Punktmatrix erlauben die flexible Gestaltung von Anzeigehalten, z. B. die Simulation eines Zeigerinstrumentes oder eine Tankvisualisierung. Die dynamische Farbauswahl der Hintergrundbeleuchtung zeigt anschaulich Diagnoseinformationen, z. B. rot für Messwert ausserhalb des zulässigen Bereichs.



Abb. 5: Beispiele flexibler Anzeigehalte eines LCDs mit Punktmatrix und Hintergrundbeleuchtung

1.4.3 Bedienelemente

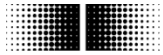
Bedienelemente von Sensoren mit Display bieten die Auswahl von Anzeigehalten oder Programmierung von Parametern. Robuste Bedienelemente ohne Gehäuseöffnungen für bestmögliche Dichtigkeit sind:

- Folientaster (mit Druckpunkt)
- Berührungssensitive Schaltflächen
- Touch-Screen



Abb. 6: Beispiele von robusten Bedienelementen ohne Gehäuseöffnungen

Der Benutzer arbeitet mit dem Touch-Screen sehr komfortabel. Das Display positioniert die Schaltflächen flexibel und beschriftet sie je nach Menüpunkt in der ausgewählten Sprache.



2 Technische Daten von Sensoren

2.1 Leistungsmerkmale

Die Norm EN 61298-2 gilt als wesentliche Grundlage für die Definition der Leistungsmerkmale von Sensoren. Dieser Abschnitt beschreibt diese mit einem praktischen Fokus unterstützt von Beispielen.

2.1.1 Messbereich

Die Angabe des Messbereiches beinhaltet grundsätzlich zwei Werte, einen unteren und einen oberen Grenzwert, zusammen mit einer physikalischen Einheit. Zwischen diesen Grenzwerten kann der Sensor Messwerte mit einer spezifizierten Messabweichung aufnehmen und ausgeben.

Beispiel für einen Drucksensor:

Messbereich	-1 ... 24 bar
-------------	---------------

2.1.2 Messspanne

Die Messspanne ergibt sich aus der Differenz zwischen dem oberen und unteren Grenzwert des Messbereiches.

Beispiel für einen Drucksensor:

Messspanne	24 bar - (-1 bar) = 25 bar
------------	----------------------------

Die Angaben von min. und max. Messspanne finden sich bei Sensorfamilien, um die Grenzen der Auswahlmöglichkeiten von Messbereichen darzustellen.

Beispiel für einen Drucksensor:

Min. Messspanne	0,1 bar
Max. Messspanne	40 bar

2.1.3 Full-Scale (FS)

Full-Scale bedeutet die max. Aussteuerung als Bezugsgrösse bei Genauigkeitsangaben. Der Wert ist identisch mit der Messspanne von oben.

2.1.4 Ausgabebereich

Der Ausgabebereich entspricht standardmässig dem Messbereich. Durch Parametrieren (Turn-Down) oder Angabe als Bestelloption lässt sich der Ausgabebereich anpassen.

Beispielsweise sind bei einem Drucksensor mit 4 ... 20 mA Stromausgang die jeweils untere und obere Ausgabebereichsgrenze für 4 mA und 20 mA den gewünschten Druckbereichswerten zuzuordnen.

Beispiel für einen Drucksensor:

Ausgabebereich	4 mA = -1 bar 20 mA = 24 bar
----------------	---------------------------------

2.1.5 Messabweichung

Die Messabweichung beschreibt die Differenz eines vom Sensor gemessenen Wertes zu einem als genau angesehen Referenzwert. Ein bestimmter Messablauf liefert eine Aussage über die Genauigkeit des Sensors. Die erhaltenen Ergebnisse beziehen sich mit der Prozentangabe auf die Messspanne.

2.1.5.1 Messablauf

- Messpunkte mit einer bestimmten Aussteuerung der Messspanne festlegen. Die Grenzwerte 0 % und 100 % des Messbereiches mit einbeziehen.
- Anfahren vom unteren Grenzwert des Messbereichs zum ersten Messpunkt in Richtung steigender Aussteuerung. Für den unteren Grenzwert von 0 % im ersten Messdurchlauf keinen Messpunkt aufnehmen, da noch keine Richtung definiert ist. Messpunkte langsam Anfahren um Überschwingen zu vermeiden (siehe Abb. 7).
- Die weiteren Messpunkte in Richtung steigender Aussteuerung bestimmen, bis zur Vollaussteuerung (100 % der Messspanne). Ergebnis: Messkurve «Auf».
- Weiter mit fallender Aussteuerung bis zum Messanfang bei 0 % (erster Messwert für 0 %). Ergebnis: Messkurve «Ab».
- Je nach Definition zeitnah weitere Messdurchläufe dieser Art aufnehmen. Die Messkurven für jede Aussteuerungsrichtung «Auf» bzw. «Ab» getrennt arithmetisch mitteln.
- Je nach Messtechnologie entsteht ein abweichender Verlauf der beiden Messkurven «Auf» und «Ab», bedingt durch das Hystereseverhalten. Dieses entsteht wegen der Abhängigkeit von der Richtung wie die Messpunkte nacheinander angefahren werden. Die zwei Kurven zusätzlich arithmetisch zu einer Mittelwertkurve «Auf, Ab» mitteln, da für einige Definitionen der Messabweichung die Hysterese nicht interessiert.
- Der Messablauf bestehend aus einem oder mehreren Messdurchläufen ist beendet.

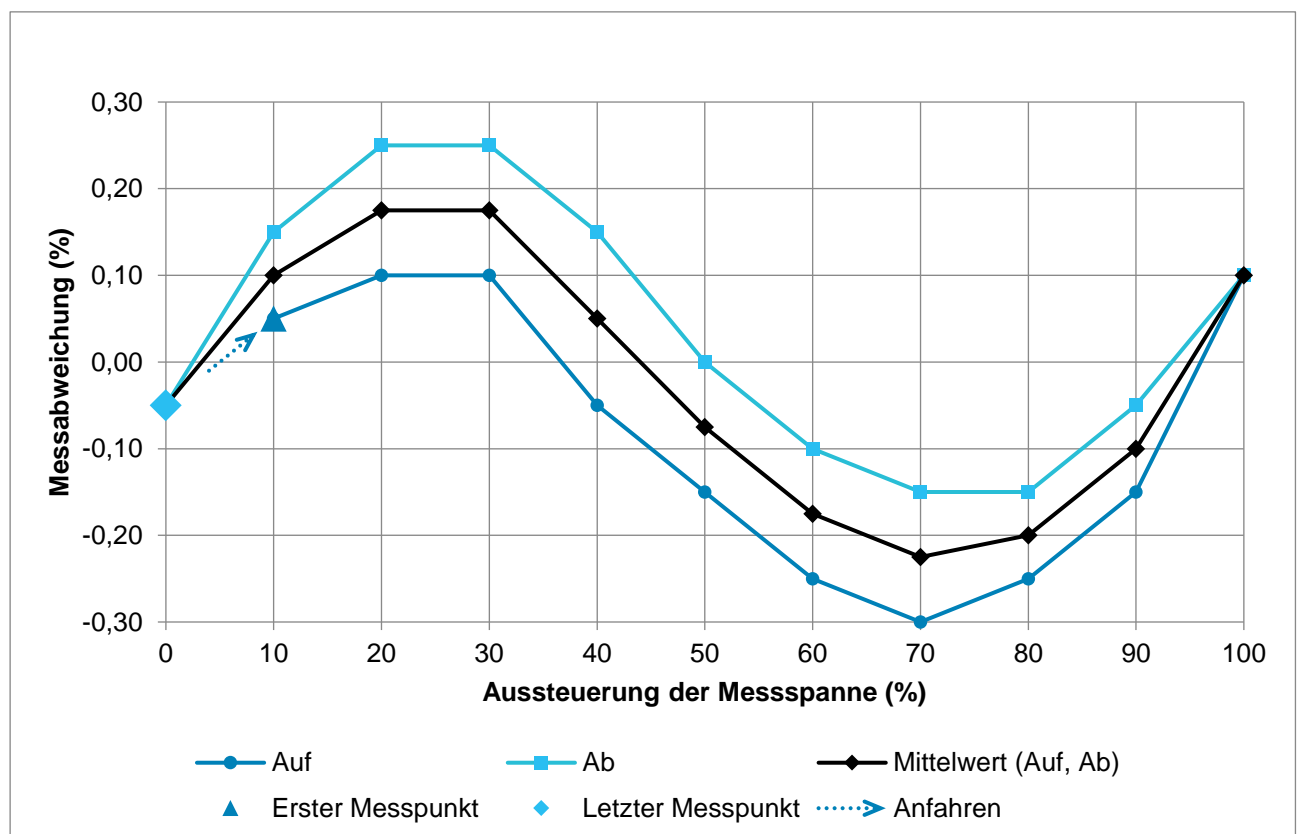


Abb. 7: Ergebnis eines Messdurchlaufes zur Bestimmung der Messabweichung

2.1.5.2 Nullpunktabweichung

Die Nullpunktabweichung (alternativ Offsetfehler) resultiert aus dem unteren Grenzwert des Messbereichs, dem Messanfang (siehe Abb. 8).

2.1.5.3 Endwertabweichung

Die Endwertabweichung leitet sich aus dem oberen Grenzwert des Messbereichs ab (siehe Abb. 8).

2.1.5.4 Spannefehler

Der Spannefehler errechnet sich aus der Differenz zwischen Endwertabweichung und Nullpunktabweichung. Sie gibt die Abweichung von der Angabe der Messspanne an (siehe Abb. 8).

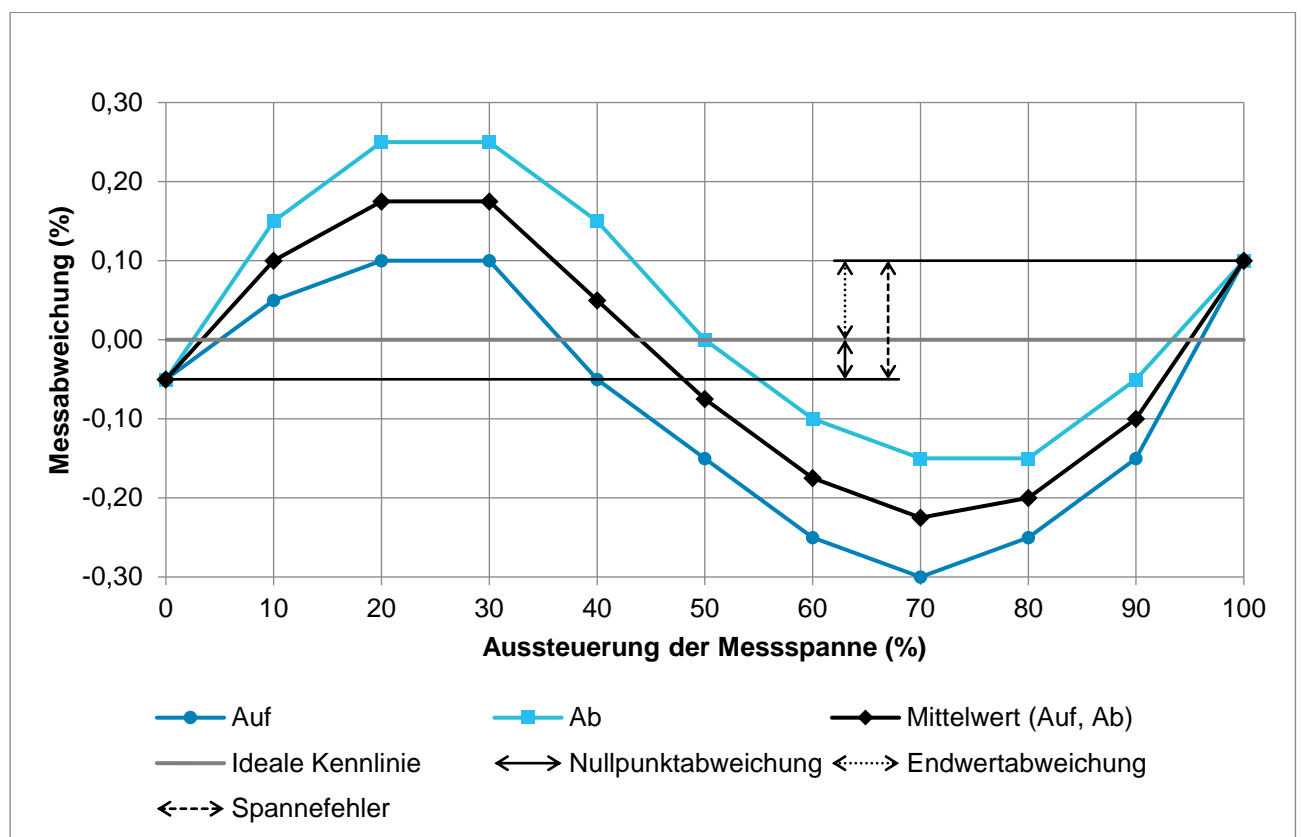


Abb. 8: Definition von Nullpunktabweichung, Endwertabweichung und Spannefehler

2.1.5.5 Nichtlinearität

Die Nichtlinearität gibt die max. Differenz von der Mittelwertkurve «Auf, Ab» zu einer idealen Geraden an. Es sind drei verschiedene Methoden definiert um die Gerade legen:

- Grenzpunkteinstellung: Gerade läuft durch die beiden Werte für den unteren und oberen Grenzwert des Messbereichs (siehe Abb. 9).
- Kleinstwerteinstellung: Lage der Geraden so, dass max. Abweichung zur gemessenen Kurve am kleinsten (BFSL = Best Fit Straight Line) (siehe Abb. 10).
- Anfangspunkteinstellung: Gerade läuft durch den unteren Grenzwert; Steigung so, dass max. Abweichung zur gemessenen Kurve am kleinsten (ohne Abb.).

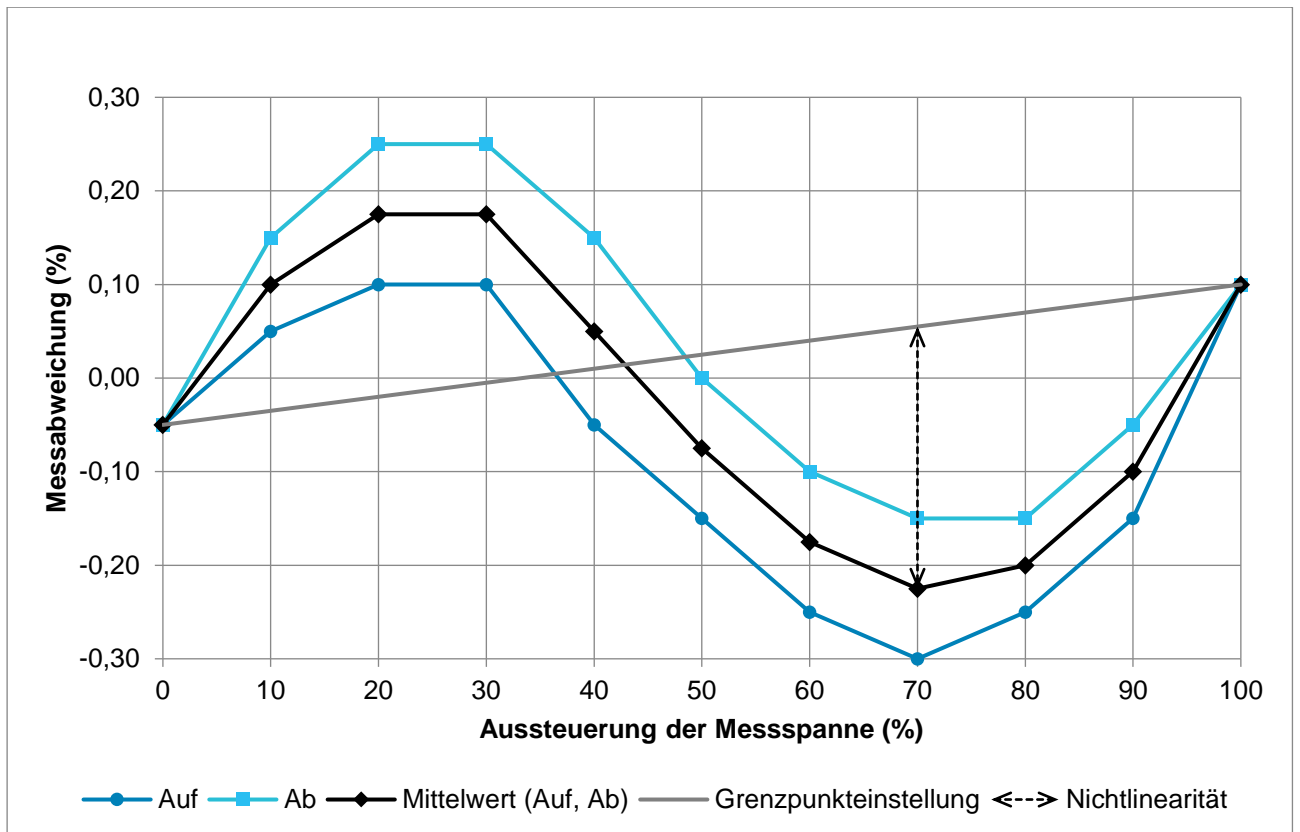


Abb. 9: Ermittlung der Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung

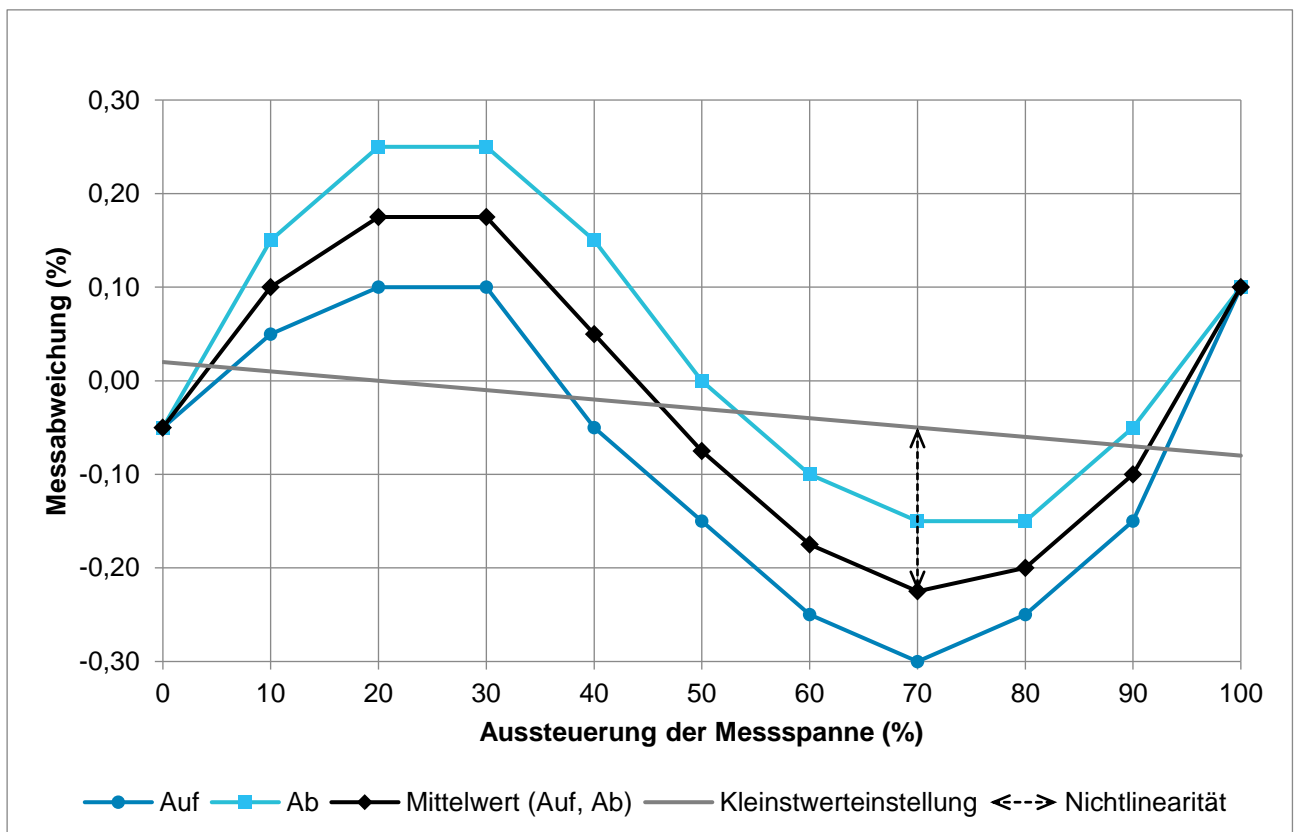


Abb. 10: Ermittlung der Nichtlinearität nach Kleinstwerteeinstellung (BFSL)

Die Kleinstwerteneinstellung und Anfangspunkteinstellung liefern kleinere (bessere) Werte für die Abweichungen. Die Gerade lässt sich nicht analytisch sondern nur iterativ bestimmen. Die überwiegend verwendete Grenzpunkteinstellung liefert normalerweise die grösseren Werte für die Abweichungen und bietet mehr Reserve bei der Auslegung der max. Messabweichung.

2.1.5.6 Hysterese

Abhängig von der Richtung eines angefahrenen Messpunktes zeigen viele Technologien abweichende Messergebnisse. Diese Abweichung nennt man Hysterese. Im oberen und unteren Umkehrpunkt treffen sich die Kurven beider Richtungen, da diese Punkte nur von einer Richtung angefahren sind. Für die Angabe der Hysterese den Wert des max. Abstandes der Messkurven «Auf» und «Ab» verwenden (siehe Abb. 11). Falls mehrere Messdurchläufe vorliegen, das Kurvenpaar mit dem grössten Abstand wählen (nicht die gemittelten Messkurven).

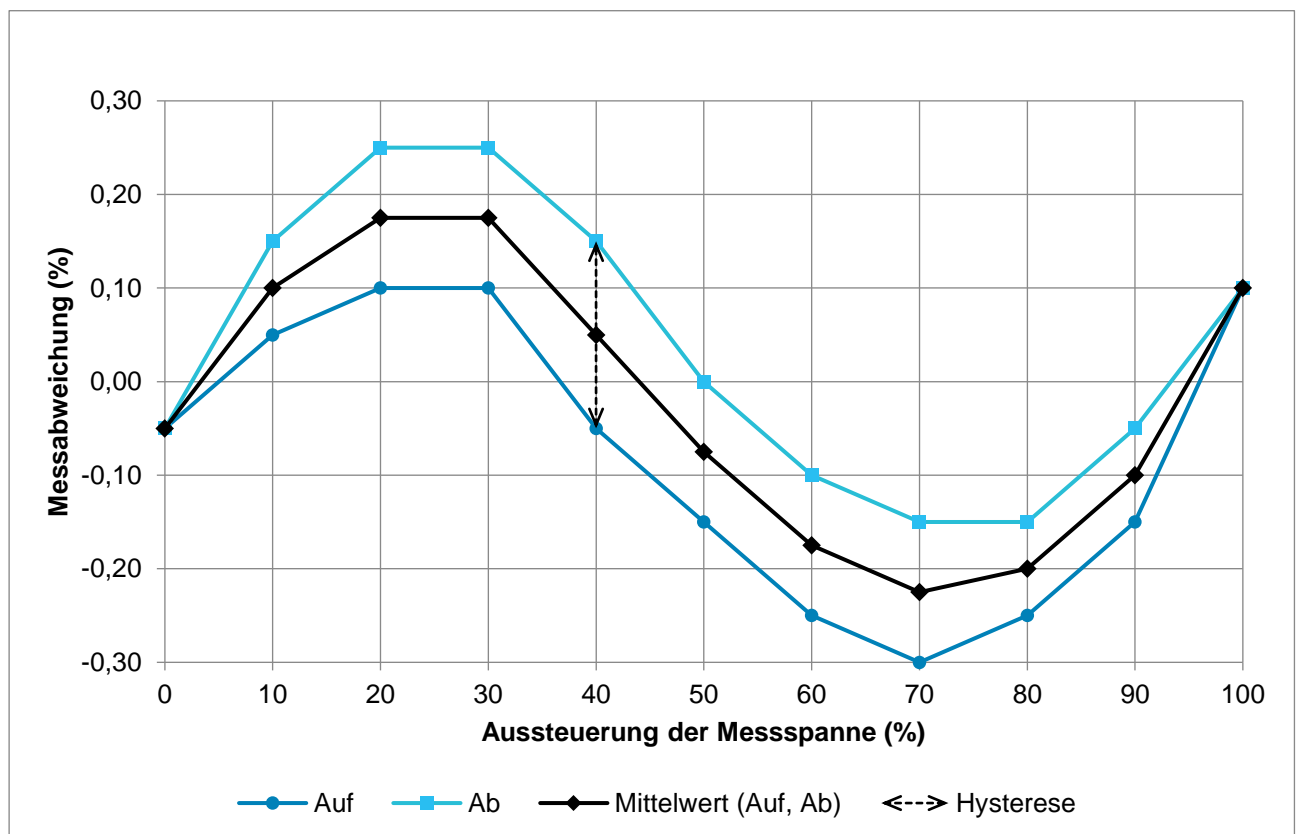


Abb. 11: Definition der Hysterese

2.1.5.7 Nichtwiederholbarkeit

Die bei mehrfachen Durchläufen eines Messablaufs in einem kurzen Zeitraum unter unveränderten Umgebungsbedingungen beobachtete zueinander grösste Abweichung zweier Messergebnisse beim gleichen Messpunkt ergibt die Nichtwiederholbarkeit. Die Effekte der Hysterese sind nicht mit einzurechnen. Nur jeweils die Kurven mit gleicher Richtung, also «Auf 1» mit «Auf 2» ... und «Ab 1» mit «Ab 2» ..., vergleichen.

2.1.5.8 Max. Messabweichung

Die Angabe für die max. Messabweichung betrachtet die maximale Differenz aus den Kurven der Messabweichung «Auf» bzw. «Ab» zur idealen Kennlinie. Bei mehreren aufgenommenen Messdurchläufen, die gemittelten Kurven gleicher Richtung heranziehen.

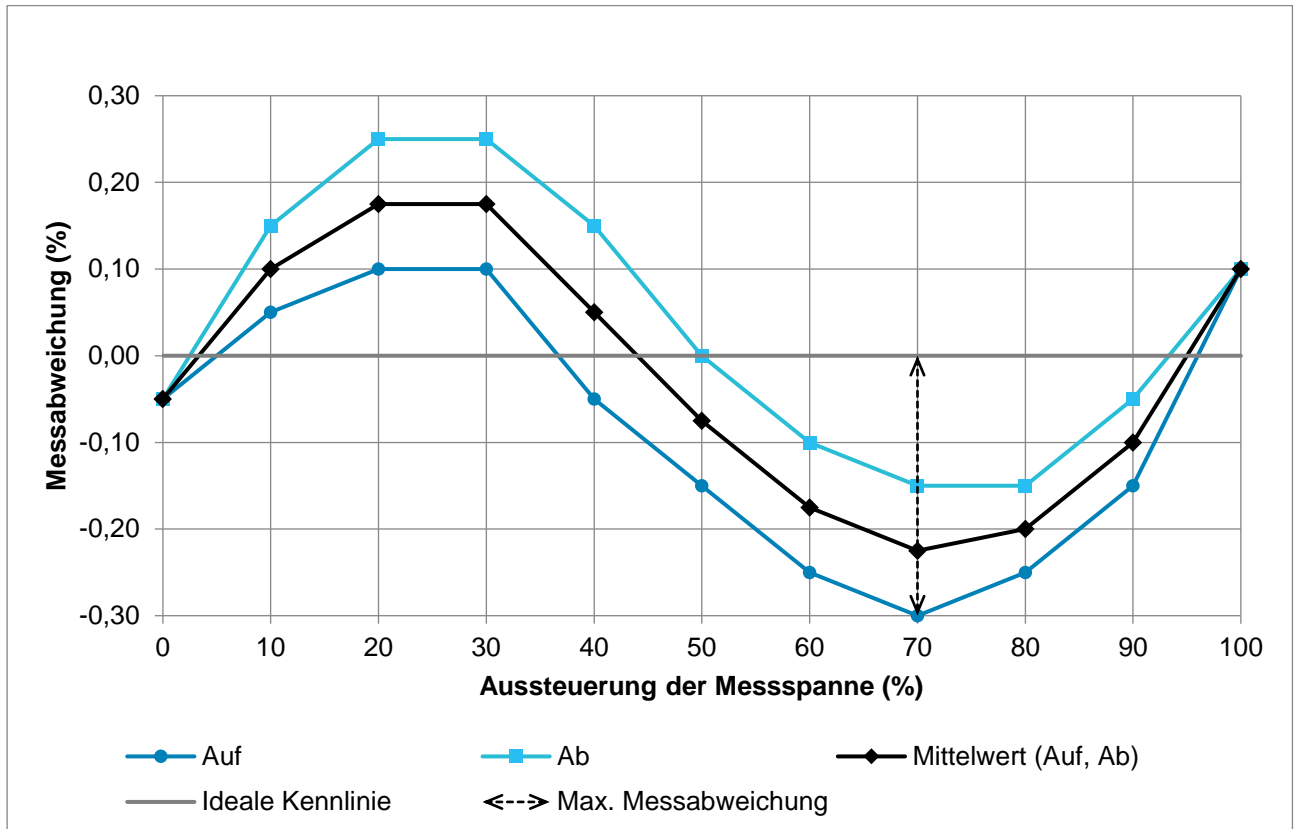


Abb. 12: Angabe der max. Messabweichung

2.1.5.9 Spezifikation von Messabweichungen

Um die Genauigkeit eines Gerätes anzugeben ist genau zu benennen welche Art von Messabweichung gemeint ist. Auch ohne Vorzeichenangabe gelten die Werte normalerweise als plus/minus, d. h. die Bandbreite der max. Messabweichung hat den doppelten Wert.

Beispiel 1:

<p>Max. Messabweichung Beinhaltet die Nullpunkt- und Endwertabweichung, die Nichtlinearität (Grenzpunkteinstellung) sowie Hysterese und Nichtwiederholbarkeit (EN 61298-2) (Tamb = 20 °C) Bei Turn-Down ist dieser Wert mit dem angewendeten Turn-Down-Verhältnis zu multiplizieren.</p>	0,5 % FS
---	----------

Beispiel 2:

<p>Standardmessfehler (BFSL) Beinhaltet die Nichtlinearität (Kleinstwerteinstellung) sowie Hysterese und Nichtwiederholbarkeit Bei Turn-Down ist dieser Wert mit dem angewendeten Turn-Down-Verhältnis zu multiplizieren.</p>	0,2 % FS
--	----------

Beispiel 1 garantiert seriös mit Angabe der max. Messabweichung alle Messfehler, insb. Nullpunkt- (Offset) und Endwertabweichung (Spanne).

Viele Hersteller geben nur den Standardmessfehler (BFSL) wie in Beispiel 2 an. Damit lassen sich vermeintlich bessere Werte spezifizieren. Über Nullpunkt- und Endwertabweichung gibt es keine Aussage. Es darf ein beliebiger Offset- oder Spannefehler vorliegen. Dies ist noch akzeptabel, wenn die Applikation eine Nullpunkt- und Spanne-Justierung erlaubt und der Sensor eine ausreichende Langzeitstabilität besitzt. Beiden Arten der Angaben gelten nur bei einer konstanten Umgebungstemperatur Tamb = 20 °C. Die Temperatur- und Langzeitdriften finden sich eigens aufgeführt (siehe unten).

2.1.6 Temperaturdrift

2.1.6.1 Temperatur-Koeffizient

Die Temperatur-Koeffizienten (TK) geben die Temperaturdriften des Nullpunktes und der Spanne an. Die Werte beziehen sich auf ein Temperaturintervall von je 10 K ausgehend von 20 °C. Bei voller Nutzung der Messspanne (Vollaussteuerung) lassen sich die beiden TK-Werte für Nullpunkt und Spanne direkt addieren. Bei teilweiser Nutzung der Messspanne wirkt der TK-Wert der Spanne nur mit dem Prozentsatz der genutzten Spanne addiert zum TK-Wert des Nullpunktes. Die so ermittelten Werte geben die max. Messabweichung bedingt durch die Temperaturdrift an. Die graphische Darstellung der Temperaturdrift über der Temperatur zeigt die sog. «Schmetterlingskurve» (siehe Abb. 13).

Für die Auslegung des kompensierten Temperaturbereichs ist der grössere der beiden Werte Prozesstemperatur oder Arbeitstemperaturbereich (Umgebungstemperatur) zu berücksichtigen.

Die Berechnung der Temperaturdrift gilt nur für eine konstante Beharrungstemperatur des Sensors, d. h. ohne räumliche Temperaturgradienten. Da dieser Fall in der Praxis während Änderungen der Mediumstemperatur nicht vorliegt, empfiehlt sich die Validierung eines solchen Prozesses.

Ja nach Sensor-Signalverarbeitung und Spezifikation können die Temperatur-Koeffizienten getrennt angegeben sein für die Erfassung des Messwertes und für die analoge Ausgabe (siehe 1.2).

Beispiel für einen Drucksensor:

Temperatur-Koeffizient	$\leq 0,03 \text{ \% FSR}/10 \text{ K}$, Messspanne $\leq 0,03 \text{ \% FSR}/10 \text{ K}$, Nullpunkt
------------------------	---

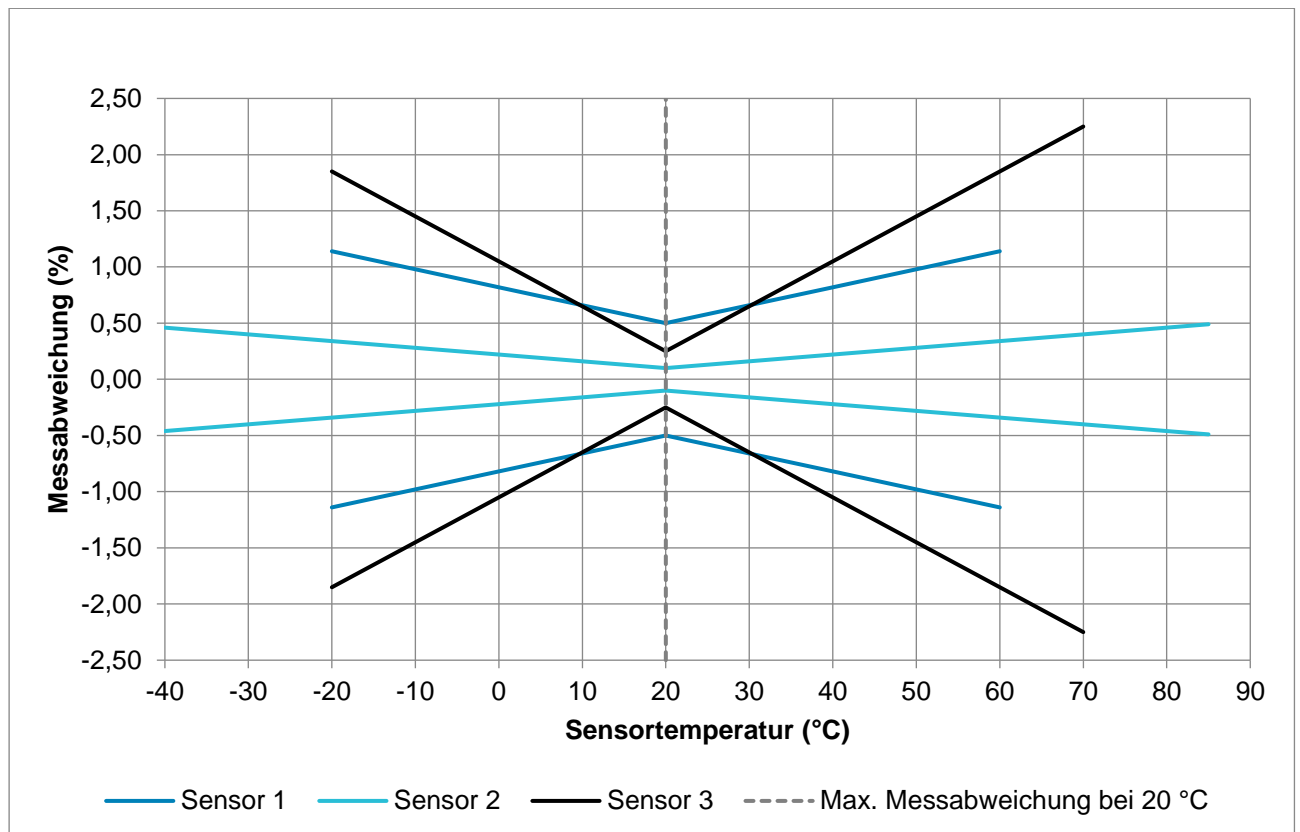
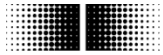


Abb. 13: Beispiel von max. Messabweichungen versch. Sensortypen über der Sensortemperatur

Spezifikationen zum Beispiel in Abb. 13:

	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
TK-Offset (%/10 K)	0,08	0,03	0,20
TK-Spanne (%/10 K)	0,08	0,03	0,20
Max. Messabweichung bei 20 °C (%)	0,5	0,1	0,25
Kompensierter Temperaturbereich (°C)	-20 ... 60	-40 ... 85	-20 ... 70

Abb. 13 zeigt deutlich den Einfluss der Temperatur-Koeffizienten. Sensor 3 hat zwar eine kleinere max. Messabweichung angegeben als Sensor 1, sie ist aber nur bei einer Sensortemperatur von 20 °C gültig. Sobald diese von 20 °C abweicht greifen die Temperatur-Koeffizienten. Unterhalb von 10 °C und oberhalb von 30 °C hat Sensor 1 eine kleinere max. Messabweichung als Sensor 3 und misst genauer, obwohl seine Spezifikation zur max. Messabweichung 0,5 % anstatt 0,25 % beträgt. Sensor 2 ist ein hochgenauer Präzisionsensor mit exzellenter Temperaturstabilität. Ein solcher verbessert entscheidend die Stabilität von Prozessabläufen in anspruchsvollen Applikationen mit grossen Temperaturänderungen, z. B. die Steuerung von Autoklaven.



2.1.6.2 Kompensierter Temperaturbereich

Im kompensierten Temperaturbereich korrigiert der Sensor automatisch seine Temperaturdrift durch eine hinterlegte Korrekturtabelle. Diese lernt er in einem Kalibrierprozess bei verschiedenen Temperaturen während der Produktion. Damit verkleinern sich die spezifizierten Temperaturkoeffizienten erheblich. Diese sind in den angegebenen Temperaturgrenzen gültig. Verlässt die Sensortemperatur diese Grenzen, gibt der Sensor noch Messwerte aus, jedoch ohne Gewährleistung der Genauigkeit.

Beispiel für einen Drucksensor:

Kompensierter Temperaturbereich	-20 ... 125 °C
---------------------------------	----------------

2.1.7 Langzeitdrift

Die Langzeitdrift ist definitionsgemäss nur durch den Faktor Zeit bedingt. Eine labortechnische Beobachtung muss über mindestens 30 Tage bei konstanten Umgebungsbedingungen stattfinden. Die Angabe der Langzeitdrift gilt mit einer prozentualen Abweichung der Messspanne pro Jahr. Typischerweise findet im ersten Jahr nach der Produktion die grösste Langzeitdrift statt. Für die Folgejahre ist eine abnehmende Tendenz der jährlichen Drift zu erwarten.

Beispiel für einen Drucksensor:

Langzeitdrift	< 0,1 % FSR/a
---------------	---------------

2.1.8 Totzeit

Systembedingt durch interne Verarbeitungsketten ergibt sich bei Sensoren eine Verzögerung des Ausgangssignals auf eine Änderung der Anregung. Die Zeitspanne zwischen der Anregung und der ersten erkennbaren Ausgangsänderung ist die Totzeit (siehe Abb. 14).

2.1.9 Anstiegszeit

Die auf eine sprunghafte Änderung der Anregung (nach Verstreichen der Totzeit) folgende Änderung des Ausgangssignals geschieht praktisch nicht auch sprungartig sondern mit einer zeitlich abnehmenden Steigung bis zum Erreichen des Beharrungszustandes. In erster Näherung zeigen die meisten Systeme den Verlauf einer Exponentialfunktion, wie sie auch als Ladekurve von Kondensatoren bekannt ist (PT1-Verhalten). Die Amplitude des anregenden Sprungs beträgt zwischen 0 % und 100 %. Die Anstiegszeit befindet sich zwischen dem Erreichen eines davon kleinen und grossen Prozentsatzes, festgelegt zu 10 % und 90 % (siehe Abb. 14).

2.1.10 Sprungantwortzeit

Die Sprungantwortzeit beträgt die Zeitspanne vom Beginn einer sprunghaften Anregung bis das Ausgangssignal 90 % der Sprungamplitude erreicht. Die Sprungantwortzeit ist theoretisch unterschiedlich zur Summe aus Totzeit und Anstiegszeit, da zwischen der ersten Reaktion des Ausgangssignals und dem Erreichen des kleinen Prozentsatzes (10 %) eine weitere kleine Zeitdifferenz liegt (siehe Abb. 14).

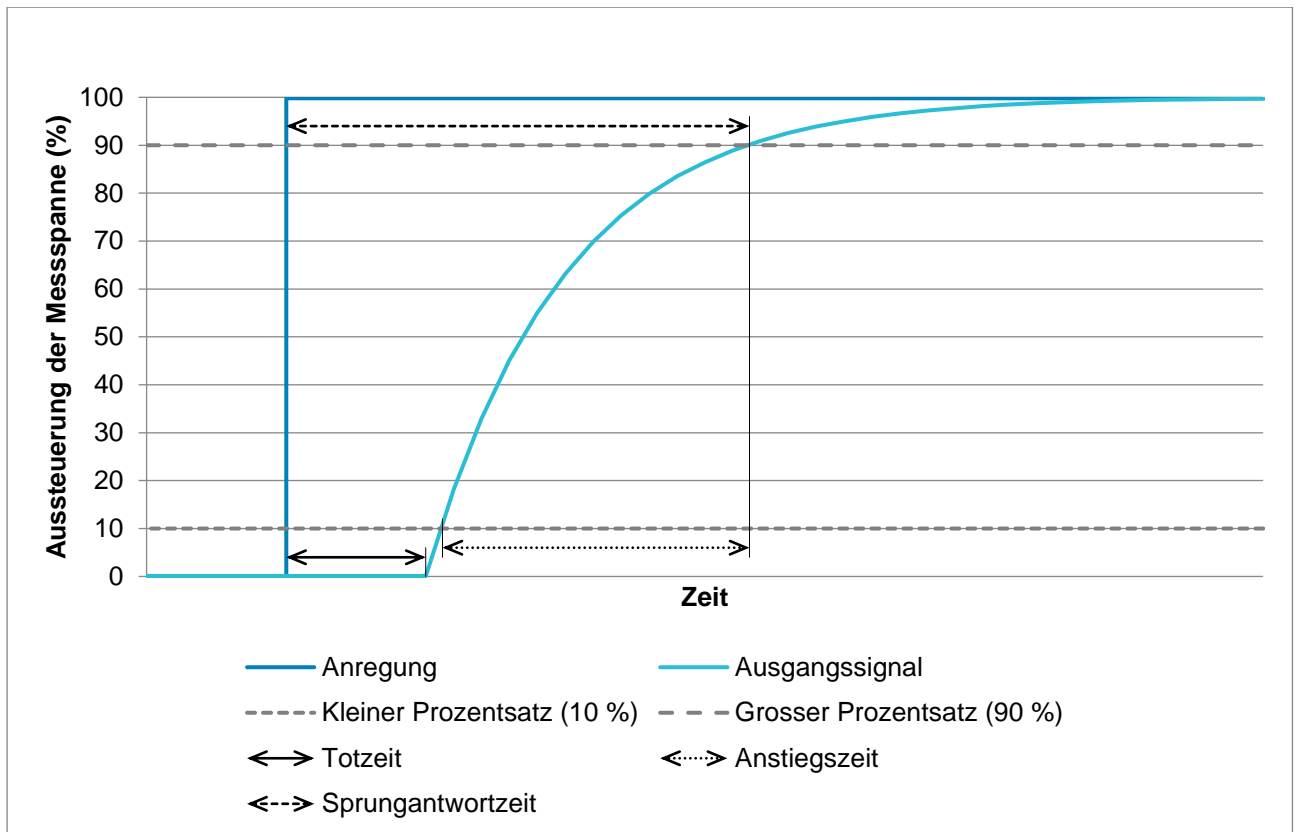


Abb. 14: Definition von Totzeit, Anstiegszeit und Sprungantwortzeit

Beispiel für einen Drucksensor:

Sprungantwortzeit	$\leq 5 \text{ ms}$
-------------------	---------------------

2.1.11 Ansprechzeit

Bei Füllstandsschaltern hat sich der Begriff «Ansprechzeit» durchgesetzt, obwohl diese angelehnt an die Norm «Totzeit» heissen müsste. Sie gilt vom Eintauchen ins Medium bis zum Schalten des Ausgangs. Zur thermischen Ansprechzeit von Temperatursensoren siehe 3.5.4.

2.2 Prozessbedingungen

Der sensitive Teil eines Sensors kommt mit der Prozesstemperatur und dem Prozessdruck des zu messenden Mediums (Flüssigkeit, Feststoff oder Gas) in Berührung.

2.2.1 Prozesstemperatur

Für die Extremwerte der zulässigen Prozesstemperatur kann es Abhängigkeiten von der Umgebungstemperatur T_{amb} und der Betriebsspannung V_s geben (siehe Beispiel in Abb. 15). Für CIP- und SIP-Reinigungsprozesse kann es zeitlich begrenzte höhere zulässige Prozesstemperaturen geben (siehe auch 2.2.3).

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Prozesstemperatur @ Tamb < 60 °, Vs ≤ 24 V	-40 ... 115 °C 135 °C max. (t < 1 h)
--	---

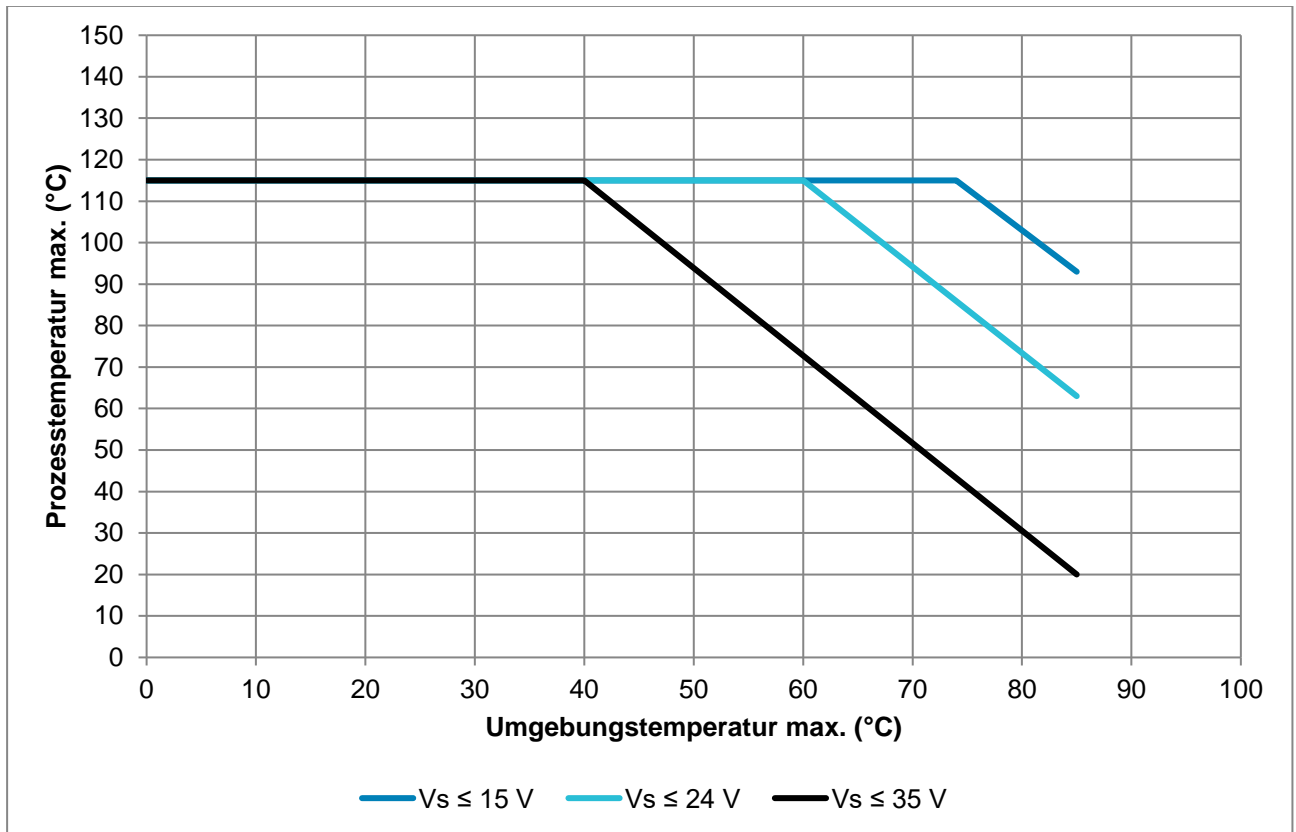


Abb. 15: Prozesstemperatur in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und Betriebsspannung

2.2.2 Prozessdruck

Die Angabe für den Prozessdruck bezieht sich als Relativdruck auf den Umgebungsdruck. Ein negativer Druck (Unterdruck oder Vakuum) kann bei bestimmten Sensoren eine erhöhte Belastung bedingen. In solchen Fällen enthält die Dokumentation entsprechende Hinweise. Die Angabe des max. zulässigen Prozessdrucks kann vom Prozessanschluss und von der Prozesstemperatur abhängig und/oder zeitlich begrenzt sein.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Prozessanschluss (BCID)	kontinuierlich Prozessdruck (bar)	zeitbegrenzt (t < 1 h) Prozessdruck (bar)
G 1/2 A hygienegerecht (A03)	-1 ... 10	-1 ... 5
1/2-14 NPT, mit Kühlstrecke (N02)	-1 ... 100	n. a.

Tamb < 50 °C

Für Drucksensoren gibt es weitere Spezifikationen, die Überlastgrenze und den Berstdruck. Diese sind abhängig vom gewählten Druckbereich in Tabellen angegeben (siehe 3.1.5).

2.2.3 Eignung für CIP/SIP

Die Eignung für die Reinigungsprozesse CIP (Clean-in-Place) oder SIP (Sterilization-in-Place) ist mit einer max. Zeitangabe versehen, abhängig von der Medientemperatur.

Beispiel für einen Drucksensor:

Eignung für CIP/SIP	< 35 min @ Medientemperatur bis 150 °C < 60 min @ Medientemperatur bis 135 °C
---------------------	--

Die hier gemachten Angaben garantieren nur das Überleben des Reinigungsprozesses. Ob der Sensor unter Reinigungsbedingungen noch innerhalb der Spezifikation arbeitet oder überhaupt Messwerte ausgeben kann ist der jeweiligen Dokumentation zu entnehmen. Bei Drucksensoren wird der kompensierte Temperaturbereich verlassen, sofern diese nicht speziell für diese Anforderung ausgelegt sind. Dafür gibt es Ausführungen mit erweitertem kompensierten Temperaturbereich, z. B. für die Steuerung von Autoklaven.

2.3 Prozessanschluss

Der Prozessanschluss trennt den Prozess von der Umgebung. Gleichzeitig ist er das Montageteil für den Sensor, eingeschweisst in einen Behälter oder ein Rohr. Prozessanschlüsse sind für den Einsatz in der Prozesstechnik mit Fluiden oder Gasen immer dicht ausgeführt. Bei geschlossenen Prozessen können erhebliche Druckdifferenzen zur Umgebung auftreten.

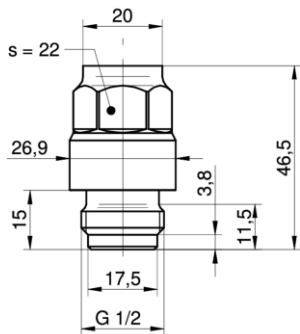


Abb. 16: Beispiel eines hygienischen Prozessanschlusses auf einem Rohr (Schnittbild)

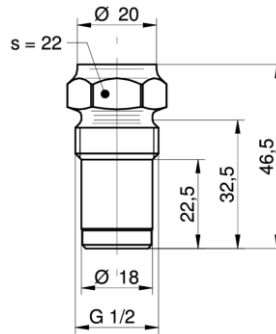
Heutzutage kommen zahlreiche Ausführungen von Prozessanschlüssen zur Anwendung. Es gibt genormte und herstellerspezifische Designs. Neben der historischen Entwicklung sind Varianten für spezielle Applikationen entstanden, z. B. zur hygienischen Montage im Lebensmittelbereich.

2.3.1 Anschlussvarianten

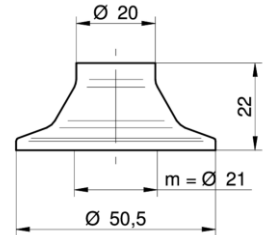
Die meisten Sensoren befinden sich mit verschiedenen Anschlussvarianten als Bestelloption im Angebot. Eine breite Palette von Adaptern erweitert die Flexibilität beim Design-In oder Austausch von Sensoren. Der BCID-Code (Baumer Connection Identifier) beschreibt die Kompatibilität zwischen Sensor, Prozessanschluss und Montag Hilfen. Teile mit gleichem Code passen immer zueinander.


G51-41

G 1/2 A DIN 3852-E (BCID: G51)


A03-48

G 1/2 A hygienegerecht (BCID: A03)


C03-53

Tri-Clamp Ø 50.5 (BCID: C03)

Abb. 17: Beispiele von verschiedenen Anschlussvarianten eines Drucksensors

2.3.2 Prozessberührendes Material

Die Auswahl geeigneter Materialien die mit den verwendeten Prozessmedien verträglich sind gewährleistet bestmögliche Ergebnisse für:

- Zuverlässige Funktion und Prozesssicherheit
- Langes Serviceintervall
- Qualität, Lebensmittelsicherheit, etc.
- Übereinstimmung mit Vorschriften (z. B. FDA, siehe 2.13.4).

Diese Teile sind prozessberührend:

- Einschweissmuffe oder Adapter
- Dichtungen (Elastomere)
- Medienberührendes Sensormaterial (Metall und/oder Kunststoff)

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Prozessberührendes Material	PEEK Natura AISI 316L (1.4404)
-----------------------------	-----------------------------------

2.4 Oberflächenrauheit (in Kontakt mit Medium)

Für Hygiene- und Pharmaprozesse ist die Oberflächenrauigkeit wegen guter Reinigbarkeit ein entscheidender Faktor. Übliche Ausführungen sind $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ und $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$, teilweise als Option wählbar. Die Angabe für Schweißnähte (z. B. bei Membranen) ist falls abweichend eigens angegeben.

Beispiel für einen Drucksensor:

Membrane	$Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$
Schweißnaht	$Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$
Prozessanschluss A03-48	$Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$
Prozessanschluss C03-53	$Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$

2.5 Umgebungsbedingungen

Der Einsatzort eines Sensors bestimmt die Anforderungen an die Umgebungsbedingungen. Diese sind klimatischer, mechanischer und elektrischer Natur:

Anforderung an	Bemerkung
Klima	Temperatur, Feuchte, Dichtigkeit
Vibrationen und Stöße	z. B. durch Pumpen und Ventile
Mobilität	ortsfester oder ortsveränderlicher Einsatz
Transport	Stürze mit oder ohne Verpackung
Missbrauch	z. B. Trittfestigkeit bei Benutzung als Steighilfe
Elektromagnetische Einflüsse	(siehe 2.13.2)
spezielle Anwendungen	Bahn, Schiff

2.5.1 Arbeitstemperaturbereich

Im sog. Arbeitstemperaturbereich arbeitet ein Sensor innerhalb der Spezifikation. Mit der Temperaturangabe ist die Umgebungstemperatur des Sensors (insb. seines Gehäuses) gemeint. Es können Abhängigkeiten von der Prozesstemperatur bestehen (siehe 2.2.1).

Beispiel für einen Drucksensor:

Arbeitstemperaturbereich	-20 ... 85 °C
--------------------------	---------------

2.5.2 Lagertemperaturbereich

Innerhalb des Lagertemperaturbereichs nimmt der Sensor keinen irreversiblen Schaden. Neben Lagerung oder Transport kann auch der eingebaute Zustand interessant sein. Die Angabe gilt nur sofern keine Betriebsspannung anliegt.

Beispiel für einen Drucksensor:

Lagertemperaturbereich	-40 ... 85 °C
------------------------	---------------

2.5.3 Schutzart

Die Schutzarten für die Dichtigkeit gegen Fremdkörper, Staub und Flüssigkeiten bzw. Feuchtigkeit sind in EN 60529 festgelegt. Diese beziehen sich nur auf die Umgebung, also das Gehäuse des Sensors. Die prozessseitigen Eigenschaften sind in den Prozessbedingungen spezifiziert (siehe 2.2).

Häufig ist das schwächste Element bei der Dichtigkeit der elektrische Anschluss, also z. B. Kabelverschraubung, DIN- oder M12-Steckverbinder. Für verschiedene Anschlussvarianten gibt es verschieden spezifizierte Schutzgrade. Ebenso das verwendete Zubehör (z. B. M12-Kabeldose) muss die geforderte Schutzart erfüllen.

Gebräuchliche Schutzgrade:

Grad	Definition nach EN 60529	Praxisbezug zu Einsatzbedingungen
IP65	Geschützt gegen Strahlwasser aus beliebigem Winkel (Strahldüse)	Aussenreinigung von Anlagenteilen mit Schlauch und Düse
IP67	Geschützt gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen in Wasser	Feuchte Umgebung, zeitweise stehengebliebene Nässe

IP68	Geschützt gegen die Wirkungen beim dauernden Untertauchen in Wasser (Tiefe und Zeit sind zu definieren)	Erhöhte Anforderungen nach Spezifikation
IP69	Geschützt gegen Hochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen	Extrem feuchte Umgebung, Aussenreinigung mit Hochdruckreiniger bis 100 bar und 80 °C

Grad	Definition nach ISO 20653	Praxisbezug zu Einsatzbedingungen
IP69K	Geschützt vor Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung, speziell Strassenfahrzeuge	Extrem feuchte Umgebung, Aussenreinigung mit Hochdruckreiniger bis 100 bar und 80 °C

Die erste Ziffer «6» bedeutet einen vollständigen Schutz vor Staubeintritt (staubdicht). Dieser ist auch Voraussetzung für Staub ATEX Ex t (Schutz durch Gehäuse, siehe 2.12.2).

Die zweite Ziffer legt den Schutz gegen Eindringen von Wasser bzw. Feuchtigkeit fest. Ein grösserer Wert ab Ziffer 7 bedeutet nicht zwangsläufig eine robustere Ausführung, vielmehr ist der notwendige Schutzgrad aus den Einsatzbedingungen zu definieren. Für die Ziffern 6 und darunter sind alle Definitionen der jeweils kleineren Ziffern eingeschlossen. Für andere Medien als Wasser kann der Schutz beeinträchtigt sein. Es gibt proprietäre Spezifikationen und Testvorschriften. So liegen z. B. die Anforderungen von «proTect+» über denen von IP69, um im anspruchsvollen industriellen Umfeld eine lange Lebensdauer ohne Wartung sicherstellen zu können¹.

Vergleich zwischen IP69 und IP69K:

Schutzart	IP69	IP69K
Norm	EN 60529	ISO 20653
Fokus	allgemein	speziell Strassenfahrzeuge
Testunterschiede		
Abstand Testdüse	175 ± 25 mm	100 -150 mm
Wirkung des Wasserstrahls	Kraftmessung	Druckmessung

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Schutzart (EN 60529)	IP 67 , mit geeignetem Kabel IP 69 , mit geeignetem Kabel
Erhöhte Schutzanforderung	proTect+

2.5.4 Luftfeuchtigkeit

Angegeben ist stets die «relative Luftfeuchtigkeit» (RH). Die Angabe «nicht kondensierend» oder «kondensierend» ist bei Temperaturänderungen zu beachten, bei denen die Gerätetemperatur den Taupunkt erreichen kann. Dies ist z. B. der Fall, wenn ein kalter Prozess angefahren wird, wie beim Füllen eines Rohres mit Bier aus dem Lagertank.

Luftfeuchtigkeit	< 98 % RH , kondensierend
------------------	---------------------------

¹ proTect+: Zuerst werden die Prüflinge entweder Wassertemperatur- oder Lufttemperaturschocktest unterzogen, um die Alterungseffekte und somit den Lebenszyklus eines Sensors in der Maschine zu simulieren. Dabei müssen die Sensoren insgesamt je 50 Temperaturzyklen durchlaufen. Erst darauffolgend werden die Tests nach den IP-Schutzklassen IP x8 und IP x9 durchgeführt.

2.5.5 Umgebungseinflüsse

In der Normenreihe EN 60068-2 sind zahlreiche Prüfverfahren für Umgebungs- und Umwelteinflüsse enthalten. Die wichtigsten Prüfverfahren adressieren die Robustheit gegen mechanischen Stress, wie Stoss (Schock) und Vibrationen (Schwingungen) und wechselnder Temperatur bzw. Feuchte. Alle Prüfungen verlangen die Festlegung von Prüfschärfen. Die Angaben sind als Mass für das Vertrauen über die Widerstandsfähigkeit zu verstehen und nicht als absolute Einsatzgrenzen, da sich die Einflüsse in der Praxis meist nicht exakt definieren lassen oder sich auch nicht so verhalten wie im Labor (z. B. keine rein sinusförmigen Schwingungen).

Beispiel für einen Drucksensor:

Schwingen (sinusförmig) (EN 60068-2-6)	1,5 mm p-p (10 ... 58 Hz), 10 g (58 Hz ... 2 kHz), 10 Zyklen (2,5 h) je Achse
Dauerschocken (EN 60068-2-27)	100 g / 2 ms, 4000 Impulse je Achse und Richtung
Feuchte Wärme, zyklisch (EN 60068-2-30)	Db: 55°C, Variante 1, 2 Zyklen (2 · 24 h)

2.5.6 Isolationswiderstand

Der Isolationswiderstand, gemessen zwischen kurzgeschlossenen elektrischen Anschlussleitungen und dem Gehäuse bzw. Prozessanschluss, enthält mindestens eine Angabe zur Prüfspannung und optional die Prüfzeit.

Beispiel für einen Drucksensor:

Isolationswiderstand	> 100 MΩ , 500 V DC
----------------------	---------------------

2.6 Ausgangssignal

Verschiedene Ausgangssignale sind entweder parallel integriert, als Bestelloption auswählbar oder programmierbar.

2.6.1 Stromausgang

Die Varianten sind abhängig von den Anforderungen, primär vom Strombedarf zur Versorgung:

- 2-Leiter (passive Stromsenke, stromschleifengespeist)
- 3-Leiter (zusätzlicher GND-Anschluss zur Versorgung, passive oder aktive Beschaltung)
- 4-Leiter (getrennte Versorgung, aktive Stromquelle, normalerweise mit galvanischer Trennung)

Die Ausgangsbereiche sind wählbar zwischen:

- 4 ... 20 mA (Live-Zero)
- 20 ... 4 mA (Inversbetrieb)
- 0 ... 20 mA (Dead-Zero)
- 20 ... 0 mA (Inversbetrieb)

Optional lässt sich die Ausgangsspanne vorkonfiguriert bestellen, insbesondere bei Turn-Down eines Drucksensors oder OEM-Anpassung eines Temperaturtransmitters. Die benötigten Parameter sind die beiden Messwerte für die Signalisierungsendwerte für 0/4 mA und 20 mA.

Der max. Wert für den Shunt-Widerstand ist bei allen Ausgangsbereichen spezifiziert. Bei passivem Stromausgang ist er abhängig von der Versorgungsspannung V_s des Schleifenstromnetzteils. Die Angabe des Betriebsspannungsbereichs bezieht sich direkt auf die Sensoranschlüsse ohne Berücksichtigung anderer Stromschleifengeräte oder Shunt-Widerstände.

Beispiel für einen Drucksensor mit passivem Stromausgang:

Betriebsspannungsbereich	8 ... 30 V DC , mit Stromausgang
Stromausgang	4 ... 20 mA , 2-Leiter
Shunt-Widerstand	$R_s \leq (V_s - 8 \text{ V}) / 0,0205 \text{ A}$ $R_s \leq 750 \Omega$, $V_s = 24 \text{ V}$

Berechnung des Versorgungsspannungsbereiches V_s des Schleifenstromnetzteils mit einem zusätzlichen Stromschleifengerät, welches einen konstanten Spannungsabfall U_s erzeugt (siehe Abb. 18):

$$V_s \text{ min.} = \text{Betriebsspannungsbereich min.} + I_s \text{ max.} \cdot R_s + U_s$$

$$V_s \text{ max.} = \text{Betriebsspannungsbereich max.} + I_s \text{ min.} \cdot R_s + U_s$$

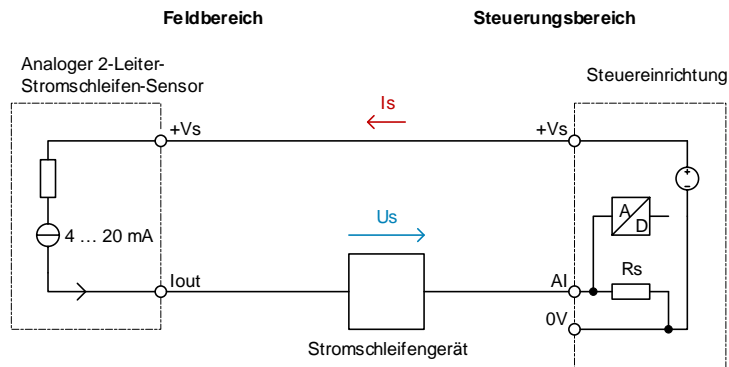


Abb. 18: Stromschleife mit einem passiven Stromschleifensensor und einem Stromschleifengerät

Die Werte für die Ausgangssignalgrenzen $I_s \text{ min.}$ und $I_s \text{ max.}$ sind der Konfiguration (z. B. FlexProgram) zu entnehmen.

Ausgangssignal	
Ausgangssignal @ Unterer Druck	4.00 mA
Ausgangssignal @ Oberer Druck	20.00 mA
Untere Ausgangssignalgrenze	3.80 mA
Obere Ausgangssignalgrenze	20.50 mA
Dämpfung	0 ms
Alarm-Ausgangssignal	
Alarm-Ausgangssignal	3.60 mA

Abb. 19: Beispiel für die Konfiguration des Ausgangssignals eines Drucksensors

Für $I_s \text{ min.}$ gilt hier der kleinste Wert von 3,6 mA konfiguriert für das Alarm-Ausgangssignal, für $I_s \text{ max.}$ die obere Ausgangssignalgrenze von 20,5 mA.

Mit dem Beispiel von oben und einem Shunt-Widerstand R_s von 220Ω und einem Stromschleifengerät (Display) mit $U_s = 6 \text{ V}$ ergibt sich:

$$V_s \text{ min.} = 8 \text{ V} + 20,5 \text{ mA} \cdot 220 \Omega + 6 \text{ V} = 18,5 \text{ V}$$

$$V_s \text{ max.} = 30 \text{ V} + 3,6 \text{ mA} \cdot 220 \Omega + 6 \text{ V} = 36,8 \text{ V}$$

Ergebnis: Ein Schleifenstromnetzteil mit $V_s = 24 \text{ V}$ eignet sich mit ausreichender Reserve.

Eine ausführliche Beschreibung zum Stromausgang ist im «Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen» enthalten.

2.6.2 Spannungsausgang

Beispiele von Ausgangsbereichen beim Spannungsausgang:

- 0 ... 5 V (Dead-Zero)
- 0 ... 10 V (Dead-Zero)
- 10 ... 0 V (Inversbetrieb)
- 1 ... 5 V (Live-Zero)
- 0,5 ... 4,5 V (ratiometrisch, linear abhängig von der Betriebsspannung)
- 0,5 ... 4,5 V (absolut, unabhängig von der Betriebsspannung)

Ein Sensor mit Spannungsausgang ist in 3-Leiter-Technik ausgeführt.. Um innerhalb der spezifizierten Genauigkeitsangaben zu bleiben, darf der Lastwiderstand einen bestimmten Wert nicht unterschreiten. Die Kurzschlussfestigkeit zerstört den Sensor nicht bei Überlast oder falschem Anschliessen.

Beispiel für einen Drucksensor:

Spannungsausgang	0... 10 V , 3-Leiter
Lastwiderstand	> 5 k Ω
Kurzschlussfestigkeit	Ja

Eine ausführliche Beschreibung zum Spannungsausgang ist im «Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen» enthalten.

2.6.3 Schaltausgang

2.6.3.1 Ausgabeart

Die Ausgabeart beschreibt die physikalische Ausführungsform bei Schaltausgängen. Diese kann der Anwender als Bestelloption konfigurieren und/oder programmieren. Es stehen zur Auswahl:

- **PNP** Schalter nach positivem Betriebsspannungspotenzial +Vs
- **NPN** Schalter nach Bezugspotenzial (GND, 0 V)
- **Push-Pull** Umschalter zwischen positivem Betriebsspannungspotenzial und Bezugspotenzial
- **Kontakt** Potenzialfreier Schaltkontakt

2.6.3.2 Schaltlogik

Die Schaltlogik bzw. logische Signalzuordnung bedeutet ob der Kontakt im aktiven oder inaktiven Zustand des Sensors geschlossen ist:

- **Schliesser** (NO: Normally Open) Schalter im normalen (inaktiven) Zustand offen
- **Öffner** (NC: Normally Closed) Schalter im normalen (inaktiven) Zustand geschlossen

Die logischen Zustände bedeuten:

- **inaktiv** Normaler Zustand, z. B. kein Medium erkannt, Druck ok oder kein Fehler
- **aktiv** Ausgelöster bzw. kritischer Zustand, z. B. Medium erkannt, Druck zu hoch oder Alarm

2.6.3.3 Spannungsabfall

Bei PNP- und NPN-Ausgängen geht eine gewisse Restspannung über den Schaltelementen verloren, d. h. es werden nicht ganz die Potenziale der Betriebsspannung oder des Bezugspotenzials erreicht. Die Werte sind abhängig von der Belastung, deshalb ist angegeben unter welchen Bedingungen der Spannungsabfall spezifiziert ist. Bei Push-Pull-Ausgängen gelten beide Angaben für PNP und NPN.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Spannungsabfall	PNP: (+Vs -1,4 V) ± 0,5 V, Rload ≥ 10 kΩ NPN: (-Vs +0,6 V) ± 0,3 V, Rload ≥ 10 kΩ
-----------------	--

2.6.3.4 Strombelastung und Kurzschlussfestigkeit

Bei Überschreiten der zulässigen Strombelastung ist die korrekte Arbeitsweise des Schaltausgangs nicht mehr gewährleistet. Die Kurzschlussfestigkeit schaltet bei Überlast den Ausgang zum Schutz ab.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Strombelastung	100 mA , max.
Kurzschlussfestigkeit	Ja

2.6.3.5 Leckstrom

Auch bei inaktivem Schaltausgang kann ein Reststrom bestehen bleiben, der sog. Leckstrom. Dies ist bei der Auswahl des Lastwiderstandes in der Steuerungseinheit zu berücksichtigen. Bei zu hohermiger kann die Schaltschwelle zur Erkennung eines aktiven Zustandes in der Auswerteeinheit fälschlicherweise erreicht werden.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Leckstrom	< 100 µA
-----------	----------

Als tieferegehende Information siehe «Baumer Leitfaden für Schaltausgänge».

2.7 Schnittstellen

Die Spezifikationen für die IO-Link und HART-Schnittstellen sind hier getrennt von der Rubrik «Ausgangssignal» angegeben.

2.7.1 IO-Link Schnittstelle

Die IO-Link Schnittstelle bietet neben dem Betrieb als normalem Schaltausgang (SIO-Mode: Standard I/O) einen bidirektionalen Kommunikationsmodus. Dieser überträgt Mess- und Zusatzdaten und ermöglicht eine Parametrierung des Sensors. Dazu ist ein sog. IO-Link-Master erforderlich.

Die Definitionen für jeden Sensor sind in seiner «IODD» (IO-Link Device Description) enthalten, die als Download auf der Herstellerseite oder im «IODDfinder» verfügbar sind, siehe «Publikationen zu IO-Link».

Beispiel für einen Drucksensor:

Version	1.1
Porttyp	Class A
Übertragungsrate	38,4 kbaud (COM2)
Min. Zykluszeit	6,4 ms
SIO-Mode	Ja

2.7.2 HART® Schnittstelle

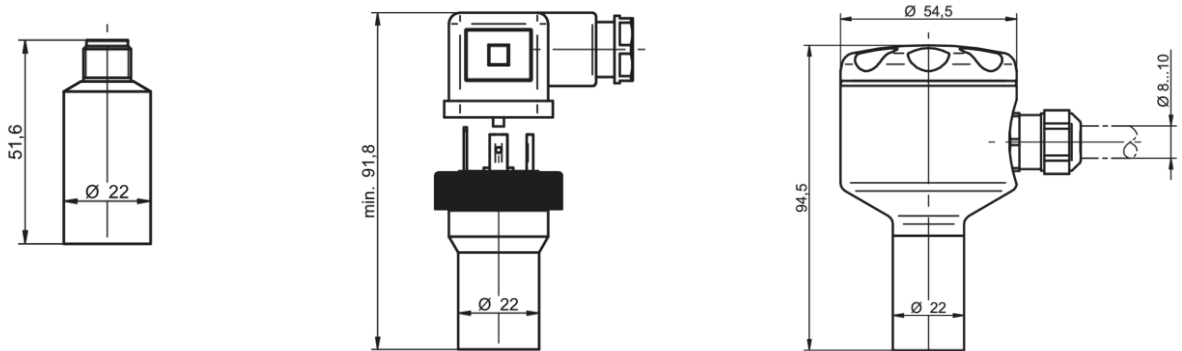
HART® steht für «Highway Addressable Remote Transducer». Die bidirektionale Schnittstelle basiert auf einem Stromsignal (0/4 ... 20 mA). Zwei verschiedene Frequenzen codieren die binäre Digitalinformation durch Aufmodulation auf das Stromsignal (FSK: Frequency Shift Keying). Bei Verzicht auf die analoge Information des Stromsignals lassen sich mehrere Geräte in der sog. «Multi-Drop» Architektur als Bus zusammenschalten. Es sind generische Standard-Funktionen definiert und es besteht die Möglichkeit herstellerspezifische Funktionen zu implementieren. In diesem Fall benötigt man die «DD» (Device Description) im Kommunikationsgerät. Für weitere Informationen siehe «Publikationen zu HART®» und «Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen».

Beispiel für einen Temperaturtransmitter:

Eigenschaften	Lesen der Serien-Nr. Lesen/Ändern der Benutzer ID Lesen/Ändern der Einstellung Lesen des Eingangssignals Lesen des Ausgangssignals Speicherung Eingangssignal 2-Punkt-Sensorjustage
Protokoll	HCF Standard, Rev. 7 inklusive «Temperature Device Family» Befehle

2.8 Gehäuse

Bestimmte Sensortypen lassen sich mit verschiedenen Gehäusen konfigurieren, z. B. Kompaktgehäuse oder Feldgehäuse. Das Design des Gehäuses kann von anderen Eigenschaften abhängig sein, z. B. vom elektrischen Anschluss oder Prozessanschluss.



Gehäuse mit Steckverbindung
M12-A, 4-Pin

Gehäuse mit Steckverbindung
DIN EN175301-803 A, 4-Pin

Feldgehäuse mit
Kabelverschraubung

Abb. 20: Beispiel verschiedener Gehäusevarianten eines Drucksensors

Die Eignung des Gehäusematerials auf Reinigungsmittel ist zu überprüfen (z. B. Ecolab). Sensoren bei denen das Gehäuse und der Prozessanschluss aus einem Stück gefertigt sind lässt sich das Gehäusematerial gleichzeitig mit dem Material für den Prozessanschluss konfigurieren.

Beispiel für einen Drucksensor:

Material	AISI 316L (1.4404)
----------	--------------------

2.9 Elektrischer Anschluss

Die standardmässigen Auswahlmöglichkeiten für elektrische Anschlüsse sind sofern vorgesehen:

- Steckverbindung
 - M12-A, 4-Pin
 - Kunststoff
 - Messing vernickelt
 - Edelstahl
 - DIN EN 175301-803 A (DIN 43650 A), 4-Pin
- Kabelverschraubung
 - Kunststoff M16 x 1.5, M20 x 1.5
 - Edelstahl M16 x 1.5, M20 x 1.5
- Kabelabgang mit konfigurierbarer Kabellänge

Für die verschiedenen Varianten können sich abhängige Spezifikationen oder Verfügbarkeiten ergeben, z. B. für Schutzart oder Explosionsschutz.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Steckverbindung	M12-A, 4-Pin, Polycarbonat
-----------------	----------------------------



	M12-A, 4-Pin, Edelstahl
--	-------------------------

2.10 Speisung

2.10.1 Betriebsspannungsbereich

Liegt die Versorgung des Sensors ausserhalb des Betriebsspannungsbereichs können Abweichungen von den Spezifikationen oder dauerhafte Schäden entstehen. Es ist eine angepasste Absicherung erforderlich. Stromschleifengespeiste Sensoren sind mit max. 100 mA abzusichern.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Betriebsspannungsbereich	8 ... 35 V DC
--------------------------	---------------

2.10.2 Stromaufnahme

Die Stromaufnahme kann abhängig sein von:

- Exemplar
- Betriebsspannung
- Betriebszustand (Hochlaufen, Konfigurieren, etc.)
- Signalisierung (Ausgang inaktiv/aktiv, Stromsignal)
- Belastung von Ausgängen

Bei der Auslegung von Netzteilen gilt die max. Stromaufnahme des Sensors. Bei Angabe «ohne Last» addieren sich die Lastströme aller Ausgänge.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Stromaufnahme (ohne Last)	25 mA , typ. 50 mA , max.
---------------------------	------------------------------

2.10.3 Verpolungsschutz

Ein Verpolungsschutz bedeutet, dass bei versehentlich vertauschter Polarität der Betriebsspannung kein Schaden am Sensor entsteht. Ausgänge mit Kurzschlussfestigkeit sind in Kombination gegen versehentliches Anschliessen an Betriebsspannung oder Bezugspotential geschützt.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

Verpolungsschutz	Ja
------------------	----

2.10.4 Hochlaufzeit

Die Hochlaufzeit gibt die Zeitdauer nach dem Anlegen der Betriebsspannung an bis der Sensor vollständig betriebsbereit ist und ein gültiges Ausgangssignal bereitstellt.

Beispiel für einen Temperaturtransmitter:

Hochlaufzeit	< 3 s , RTD, Ohm, mV < 5 s , T/C
--------------	-------------------------------------

2.11 Werkseinstellungen

Die Angabe von Werkseinstellungen sind für Sensoren vorgesehen, die programmierbare Parameter beinhalten. Diese stellt insbesondere ein «Werks-Reset» wieder her, sofern für den Anwender vorgesehen.

Beispiel für einen Füllstandsschalter:

qTeach	aktiviert
Schaltlogik SW1	Schliesser (NO)
Schaltlogik SW2	Öffner (NC)
Schaltbereich (Dielektrizitätskonstante DK)	< 75 % , DK > 2

2.12 Explosionsschutz

Im «Baumer Leitfaden für Explosionsschutz» finden Sie eine ausführliche Beschreibung zu den Zündschutzarten und den Feldeinsatz. An dieser Stelle sei nur auf die in den Spezifikationen verwendeten Begriffe hingewiesen.

Die Angaben über die Zertifizierung zum Explosionsschutz sind in Datenblättern für jede Zündschutzart getrennt aufgeführt. Von Baumer verwendete Zündschutzarten und ihre zugehörigen Angaben sind:

2.12.1 Eigensicherheit (Ex i)

Interne Werte zur Auswahl des zugehörigen Betriebsmittels (Barriere):

- U_i : max. Eingangsspannung
- I_i : max. Eingangsstrom
- P_i : max. Eingangsleistung
- C_i : max. innere Kapazität
- L_i : max. innere Induktivität

2.12.2 Schutz durch Gehäuse (Ex t)

- Nennspannung, U_n : max. zulässige Betriebsspannung
- Nennstrom, I_n : max. Stromaufnahme im Normalbetrieb
- Schutzart für Kabelzubehör: Sicherstellung der Staubdichtigkeit, insb. für M12-Kabel Dosen
- Max. Oberflächentemperatur: zur Berechnung der Reserve zur Zünd- und Glimmtemperatur (bei Einhaltung des Arbeitstemperaturbereichs)

2.12.3 Nichtfunkendes Betriebsmittel (Ex nA)

- Nennspannung, U_n : max. zulässige Betriebsspannung
- Nennstrom, I_n : max. Stromaufnahme im Normalbetrieb
- Schutzart für Kabelzubehör: Sicherstellung der Staubdichtigkeit, insb. für M12-Kabel Dosen
- Temperaturklasse des Gerätes (bei Einhaltung des Arbeitstemperaturbereichs)

Wird zukünftig ersetzt durch Ex ec.

2.12.4 Erhöhte Sicherheit (Ex ec)

Es gelten die gleiche Angaben wie oben für Nichtfunkendes Betriebsmittel (Ex nA).

2.13 Konformität und Zulassungen

Bestimmte Länder oder Unionen machen Richtlinien für das Inverkehrbringen von Produkten zur Pflicht. Die Übereinstimmung bestätigt der Hersteller, z. B. in der EU mit der «CE-Konformitätserklärung». Bestimmte Übereinstimmungen dürfen nur sog. «Benannte Stelle» bestätigen, z. B. ATEX durch TÜV oder DEKRA mit Ausstellung eines Baumuster-Prüf-Zertifikats.

Die Übereinstimmung mit proprietären Richtlinien, z. B. 3-A und EHEDG für den Hygienebereich, vergeben spezialisierte Institutionen nach vorgeschriebenen Tests oder Begutachtung des Designs. Die Übereinstimmung mit speziellen Normen, wie z. B. EN 50155 für Bahnanwendungen, können entsprechende Labortests bestätigen. Die zutreffenden Normen für ein Produkt sind in den Datenblättern aufgeführt.

Anwender fordern bei Bedarf weitere nicht gesetzlich vorgeschriebene Normen, Richtlinien und Zertifikate, um die Eignung des Produkts für bestimmte Applikationen zu bestätigen.

Der Einfachheit halber geht dieser Abschnitt nicht auf bestimmte Ausgaben von Normen, Richtlinien und Zertifikate ein, sondern gibt eine allgemeine Übersicht.

2.13.1 CE (Conformité Européenne)



Übereinstimmung mit den Europäischen Richtlinien. Mit Anbringung des CE-Zeichens erklärt Baumer die entsprechenden produktspezifischen Übereinstimmungen:

- 2014/30/EU: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) (ersetzt 2004/108/EG).
- 2011/65/ EU: Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS) (ersetzt 2002/95/EG).
- 2014/68/EU: Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (Druck-Geräte-Richtlinie, siehe 2.13.3.5).

Die angewandten Richtlinien und ggf. Normen sind in einer «Konformitätserklärung» mit der Typenbezeichnung des Gerätes und der Herstelleradresse anzugeben. Mit diesem Dokument, welches auf Verlangen vorzulegen ist, erklärt der Hersteller selbstverantwortlich die Übereinstimmung.

2.13.2 EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)

Die EMV ist ein entscheidendes Kriterium für das störungsfreie Zusammenarbeiten mit Geräten und Anlagen. In Europa ist beispielsweise die Übereinstimmung von Betriebsmitteln zu bestimmten Normen durch die EMV-Richtlinien gesetzlich geregelt. Seitens Hersteller können bestimmte Auflagen gelten, z. B. Installation eines Sensors nur in einem metallischen Behälter zulässig, um diesen als Abschirmung zu nutzen.

Die EMV wird nach der Wirkungsrichtung in zwei Kategorien unterteilt, Abstrahlung und Immunität.

2.13.2.1 Abstrahlung

Insbesondere elektronische Schaltungen mit Mikrocontrollern oder schnellen Logikbausteinen strahlen ungewollt Hochfrequenz ab. Angeschlossene Leitungen können diese extrem verstärken, da sie wie Antennen wirken. Abstrahlungen mit zu hoher Leistung stören Funkempfänger, im einfachsten Fall TV- und Rundfunkgeräte. Die entsprechenden Richtlinien legen Normen mit Prüfschärfen fest, um die max. abgestrahlte Leistung unter einem bestimmten Grenzwert zu halten. Die teilweise frequenzabhängigen Grenzwerte variieren nach Einsatzort und Produktkategorie. Im Industriebereich lässt sich eine höhere abgestrahlte Leistung tolerieren als im Privatbereich, wenn sich empfindliche Empfangsgeräte nicht in unmittelbarer Nähe befinden.

2.13.2.2 Immunität

Bei der EMV-Immunität geht es primär nicht um die Resistenz gegen Abstrahlung anderer Geräte wie oben beschrieben, da die Grenzwerte dort extrem niedrig sind, um keine Funkempfänger zu stören. Sender strahlen gewollt eine um viele Zehnerpotenzen höhere Leistung ab.

Ungewollte Störpotentiale entstehen durch Entladungsereignisse, Schaltvorgänge, Blitzeinschläge und Magnetfelder.

Die EMV-Immunität sorgt für einen störungsfreien Betrieb von gewollten und ungewollten Störpotentialen. Die geltenden Normen sind in mehrere Kategorien aufgeteilt. Die für Sensoren wichtigsten sind:

- Hochfrequenz gestrahlt bzw. auf Leitungen eingekoppelt (z. B. durch Mobiltelefon)
- Elektrostatische Entladungen (ESD)
- Schnelle Transienten (Burst, z. B. durch Funkenbildung an schaltenden Kontakten)
- Stossspannungen und -Ströme (Surge, z. B. durch Sekundärauswirkungen von Blitzeinschlägen oder Schalten von Induktivitäten)
- Niederfrequente Magnetfelder (z. B. von Motoren)

2.13.3 Sicherheit

2.13.3.1 ATEX (Atmosphère Explosible)



Europäische Richtlinie 2014/34/EU: Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemässen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ersetzt 94/9/EG). Die Übereinstimmung ist von einer zertifizierten Stelle zu prüfen und mit einer Baumusterprüfbescheinigung zu bestätigen (z. B. TÜV). Baumer erklärt die Übereinstimmung entsprechender Sensoren mit der Richtlinie in der CE-Konformitätserklärung.

2.13.3.2 IECEx (International Electrotechnical Commission Explosive)



Von einer freiwilligen Organisation bereitgestelltes System zur weltweiten Harmonisierung von Normen. Eine zugelassene IECEx-«Zertifizierungsstelle» (ExCB) gibt den «Explosionsschutz-Prüfbericht» (ExTR) und den «Qualitätsbewertungsbericht» (QAR) für die Produktion heraus. Diese erstellt auch die Konformitätserklärung (CoC). Anerkennung in IECEx-Mitgliedsländern, aber länderspezifische Zertifizierung erforderlich; direkte rechtliche Anerkennung nur in Australien, Neuseeland, Singapur und Indien (mit ggf. einigen Einschränkungen).

2.13.3.3 UL (Underwriters Laboratories)



Unabhängige Organisation in USA. Erlässt Standards und prüft Produkte auf die Einhaltung spezieller Ansprüche, wie z. B. Sicherheit. Canadian Standards Association (CSA) ist das Pendant in Kanada. Das Piktogramm «cULus» zeigt die Anerkennung der entsprechenden Prüfung für beide Länder. Das Labor stellt nach erfolgreicher Prüfung ein Zertifikat aus (UL listed). Die Prüfung wird grösstenteils von europäischen OEMs gefordert, die Maschinen in die USA liefern. Deren Prüfaufwand wird reduziert, wenn bereits einzelne Komponenten eine Listung besitzen. Für den reinen Verkauf von Sensoren in den USA und Kanada ist die Listung nicht obligatorisch, da unsere Geräte keine Spannungen bzw. Ströme verwenden, welche die Gefahren eines elektrischen Schlags oder Brandes bergen.



2.13.3.4 China Compulsory Certificate

Gelistete Produktgruppen, z. B. IT-Equipment, müssen seit 2002 für den Verkauf nach und in China CCC-zertifiziert sein. Seit 01.10.2020 ist CCC auch für bestimmte Sensorarten für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen zwingend vorgeschrieben. Ein ATEX- oder IECEx-Zertifikat ist nicht mehr ausreichend, sie unterstützt aber die CCC-Zertifizierung. CCC setzt eine Werksinspektion und regelmässige Überwachungsaudits voraus.

2.13.3.5 DGRL (Druckgeräterichtlinie)

Die europäische Richtlinie 2014/68/EU legt die Anforderungen an die Druckgeräte für das Inverkehrbringen innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) fest. Sie ersetzt 97/23/EG und kommt zur Anwendung für Equipment ab bestimmten Volumen und Drücken.

2.13.3.6 CRN (Canadian Registration Number)

Das CRN-System ist die kanadische Methode zur Überprüfung und Registrierung der Konstruktion von Druckbehältern, Rohrleitungssystemen und den zu ihrer Herstellung verwendeten Armaturen. Bislang verlangen verschiedene Provinzen eigene Registrierungsnummern, es laufen aber Bestrebungen diese landesweit zu harmonisieren.

2.13.4 Lebensmittel und Getränke

Für den Einsatz von Sensoren bei der Herstellung von Lebensmitteln und Getränken gibt es sowohl staatliche als auch freiwillige Richtlinien.

2.13.4.1 Europäische Verordnung 1935/2004/EG



Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen.

- 10/2011/EU: Kunststoffe
- 2023/2006/EG: Gute Herstellungspraxis

Baumer erklärt mit dem Zertifikat «Lebensmittelrechtliche Unbedenklichkeitserklärung» die Übereinstimmung mit den Verordnungen. Für Zulieferteile fordern wir dazu die entsprechenden Nachweise unserer Lieferanten ein.

2.13.4.2 EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group)



Europäisches, gemeinnütziges Konsortium von Anwendern, Zulieferern und Gesundheitsstellen. Beurteilung der Reinigbarkeit von hygienischen Komponenten anhand eines Labortests, bei dem der Prüfling gegen ein Referenzrohr verglichen wird. Bei bestandem Test stellt EHEDG ein Zertifikat aus.

Das Konsortium gibt auch Richtlinien heraus. Die äussere Reinigbarkeit von Geräten (Gehäuse, etc.) wird als «Wash-Down» bezeichnet, welche insbesondere bei der Positionssensorik zum Einsatz kommt (z. B. Lichtschranken). Diese ist auch für Kabelanschlüsse und Stecker anwendbar.

2.13.4.3 FDA (U.S. Food & Drug Administration)



Aufsichtsbehörde in den USA zum Schutz von Mensch und Tier. In der Prozesstechnik für die Auswahl von Materialien anzuwenden. Bestimmte Materialien wie hochlegierte Edelstähle und diverse Kunststoffe (z. B. PEEK) sind für den unbedenklichen Medienkontakt gelistet. Diese erhalten eine spezifische «CFR» Nr. Die Übereinstimmung mit FDA erklärt Baumer selbstverantwortlich mit dem Zertifikat «Lebensmittelrechtliche Unbedenklichkeitserklärung».

2.13.4.4 3-A Sanitary Standards, Inc.

Gemeinnützige und unabhängige Gesellschaft in den USA. Interessenvertretung von öffentlichen und staatlichen Gesundheitsstellen, Maschinen- und Lebensmittelherstellern. Stellt Standards für Materialien und Design zum Einsatz in der Getränke-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie auf. Die Beurteilung der Übereinstimmung eines Prüflings nimmt ein Inspektor anhand der Konstruktionszeichnung und einer visuellen Begutachtung vor. Ist diese positiv, stellt 3-A ein Zertifikat aus. Neben den prozessberührenden Teilen muss auch das äussere Design (Gehäuse, etc.) gewissen Richtlinien entsprechen, z. B. darf keine Flüssigkeit auf ebenen Flächen stehen bleiben.

2.13.5 Maritime**2.13.5.1 DNV GL-Maritime**

Zusammenschluss der Klassifikationsgesellschaften «Det Norske Veritas» (Norwegen) und «Germanischer Lloyd» (Deutschland). DNV-GL zertifiziert Geräte für den maritimen Bereich, hauptsächlich für den Einsatz auf Schiffen. Zur Erlangung eines Zertifikats muss insbesondere eine erhöhte Vibrationsfestigkeit durch Labortests nachgewiesen werden.

2.13.5.2 Lloyd's Register

Klassifikationsgesellschaft mit Hauptsitz in London (UK). Sie stellt Zertifikate aus für die nach dem Lloyd's-Register-Baumusterprüfungs-System übereinstimmenden Labortests. Neben dem Schifffahrtssektor ist die Gesellschaft auch für das Eisenbahnwesen tätig.

2.13.6 Bahnanwendungen

Die EN 50155 bezieht sich auf elektronische Betriebsmittel für Bahnanwendungen, worunter auch Sensoren fallen. Insbesondere Störsicherheit, Stromversorgung, Umweltbedingungen (z. B. Vibrationen) und weitere Design-Vorschriften sind enthalten.

2.14 Prüfbescheinigungen

Für Bestellungen bzw. bestimmte Produkte sind diese Prüfbescheinigungen nach EN 10204 erhältlich:

2.14.1 Werksbescheinigung «Typ 2.1»

Erklärung der Übereinstimmung mit der Bestellung. Keine spezifische Prüfung bzw. Messung.

2.14.2 Werkszeugnis «Typ 2.2»

Erklärung der Übereinstimmung mit der Bestellung mit Angabe der Ergebnisse der unspezifischen Prüfung. Bestätigung hinsichtlich gewählter Qualitätsmerkmale, z. B.:

- Material
- Ferrit-Gehalt
- Oberflächenrauheit

- Keine spezifische Prüfungen bzw. Messungen der gelieferten Produkte
- Produktionsstandards bestätigen die Qualitätsmerkmale, z. B. Stichproben
- Bei gleichzeitiger Bestätigung mehrerer Merkmale reicht ein Werkszeugnis

2.14.3 Abnahmeprüfzeugnis 3.1 «Typ 3.1»

Erklärung über die Einhaltung der Bestellung, mit Angabe der Ergebnisse der spezifischen Prüfung. Bestätigung in Bezug auf bestimmte Eigenschaften (z. B. material- und produktbetreffend, wie medienberührende Materialien).

- Spezifische Prüfung, z. B. Materialanalyse
- Bei mehreren Produkten desselben Typs Auflistung aller Seriennummern in einem einzigen Abnahmeprüfzeugnis
- Lückenkose Rückverfolgung anhand der Seriennummer jedes einzelnen Produktes möglich

2.15 Kalibrierdokumente

2.15.1 Kalibrier-Protokoll

Kalibrierprotokolle werden standardmässig oder optional erstellt.

- Verschiedene Anzahl von Messpunkten
- Messungen mit produktionsinternem Prüfequipment das ISO 9001 unterliegt

2.15.2 Kalibrier-Zertifikat

Im Gegensatz zum Kalibrier-Protokoll nach 2.15.1 findet die Kalibrierung in einem akkreditierten Labor statt.



3 Spezifische Definitionen von Messtechnologien

3.1 Druckmessung

3.1.1 Definition von Druck

Der Druck p ist definiert als Kraft F pro Fläche A :

$$p = \frac{F}{A}$$

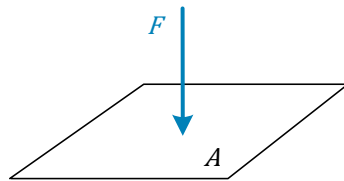


Abb. 21 zeigt einen Quader, der auf seine Stirnseite mit kleinerer Fläche A_2 gestellt einen grösseren Druck p_2 auf die Auflagefläche ausübt als mit seiner Breitseite mit grösserer Fläche A_1 . Der Druck ist bei gleicher Gewichtskraft grösser, wenn diese auf eine kleinere Fläche wirkt.

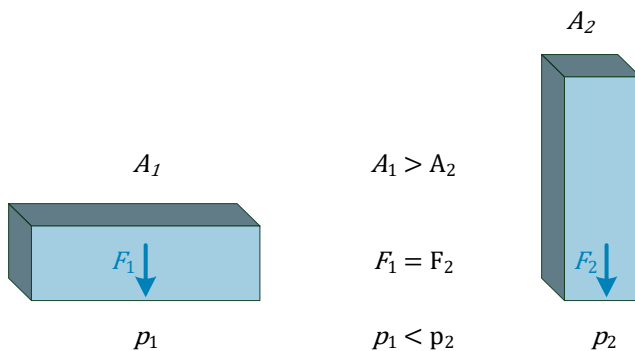


Abb. 21: Veranschaulichung der Druckabhängigkeit von der Auflagefläche

3.1.2 Einheiten für Druck

3.1.2.1 Pascal

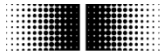
Das Pascal ist nach dem französischen Mathematiker und Physiker Blaise Pascal (1623 – 1662) benannt. Die Druckeinheit Pa leitet sich von den SI-Einheiten ab:

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Trotz der Definition als SI-Einheit findet sie sich im praktischen Sprachgebrauch der Automatisierungstechnik eher selten. In der Meteorologie hat das zahlengleiche Hektopascal (hPa) das frühere Millibar (mbar) für die Angabe des Luftdrucks abgelöst.

3.1.2.2 Bar

Das Bar, wörtlich abgeleitet vom griechischen Wort für «schwer», ist neben dem Pascal eine gesetzlich zulässige Einheit. 1 bar entspricht exakt 10^5 Pa. Als Daumenregel gilt, dass der mittlere Luftdruck oder eine Wassersäule von 10 m Höhe einen Druck von 1 bar ausüben. «bar abs» steht für die Angabe von Absolutdruck.



3.1.2.3 Meter Wassersäule

Eine Flüssigkeitssäule mit der Höhe h übt über ihre Gewichtskraft einen sog. hydrostatischen Druck p_{Hyd} auf die Grundfläche A aus, auch als «Schweredruck» bezeichnet. Das Gewicht bestimmen die Dichte ρ der Flüssigkeit und die Erdbeschleunigung g .

$$p_{Hyd} = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$$

Für Wasser ist die Dichte bei 4 °C exakt 1000 kg/m³. Zusammen mit dem internationalen Einheitswert der Erdbeschleunigung

$$g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ergibt sich die Grössengleichung:

$$p_{Hyd} = 9806,65 \text{ Pa} \cdot h[\text{m}] = 0,980665 \text{ bar} \cdot h[\text{m}]$$

Für einen Druck von 1 bar ist eine Wassersäule von ca. 10,2 m erforderlich:

$$h = \frac{p_{Hyd}}{9806,65 \text{ Pa}} \text{ m} = \frac{10^5 \text{ Pa}}{9806,65 \text{ Pa}} \text{ m} = 10,197 \text{ m} \sim 10,2 \text{ m}$$

Für die Einheitenbezeichnung von «Meter Wassersäule» gibt es verschiedene Schreibweisen:

mH₂O, cmH₂O, mmH₂O, inH₂O, ftH₂O, mWS, cmWS, mmWS.

Diese Einheiten sind nicht mehr gesetzlich, die hydrostatische Füllstandsmessung und Dichtigkeitsangaben verwenden sie dennoch.

Eine detaillierte Formelherleitung auch in imperialen Einheiten findet sich im «Baumer Leitfaden für Hydrostatische Füllstandsmessung».

3.1.2.4 psi

Die aus dem imperialen Einheitensystem stammende Einheit psi bedeutet «pound-force per square inch». Ein angloamerikanisches Pfund (lb) übt auf eine Fläche von einem Quadratzoll (in²) einen Druck von 1 psi aus. Für die Umrechnung in andere Einheiten ist die Erdbeschleunigung g notwendig. Je nach deren Definition ergeben sich unterschiedliche Angaben. Für den Einheitswert der Erdbeschleunigung aus 3.1.2.3 ergibt sich:

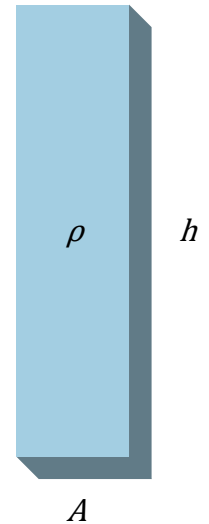
$$1 \text{ bar} = 14,503773773 \text{ psi} \quad 1 \text{ psi} = 0,068947573 \text{ bar}$$

Die Einheit findet sich auch mit Erweiterungen psia für Absolut- und psig (gauged) für Relativdruckangaben. Die Verwendung von psi ist primär in den USA im täglichen Gebrauch verbreitet (z. B. bei Reifendruckangaben).

3.1.2.5 Torr

Das Torr geht auf den italienischen Physiker und Mathematiker Evangelista Torricelli (1608 – 1647) zurück. Er erfand 1644 das Quecksilberbarometer. Im Prinzip gilt die gleiche Herleitung wie in 3.1.2.3, allerdings mit einer anderen Dichte von Quecksilber mit 13'595 kg/m³ (bei 0 °C) bei einer Flüssigkeitssäule von 1 mm Höhe. Praktisch lassen sich 1 Torr und 1 mmHg gleichsetzen, wenn auch über die Herleitung über die SI-

Flüssigkeitssäule



Einheiten geringe Unterschiede bestehen. Jedenfalls gilt die Definition, dass der mittlere Luftdruck von 1013.25 hPa auf Meereshöhe (1 atm) genau 760 Torr entspricht und damit:

$$1 \text{ bar} = 750,062 \text{ mmHg} \quad 1 \text{ mmHg} = 1,33322 \text{ mbar}$$

Das Torr wurde früher in der Meteorologie verwendet, ist aber heute gesetzlich keine zugelassene Einheit mehr, mit Ausnahme der Medizin. Dort findet mmHg Anwendung bei Druckangaben von Körperflüssigkeiten, wie die des Blutdrucks.

3.1.3 Umrechnungstabelle für Druckeinheiten

	Pa	mbar	bar	H ₂ O	psi	mmHg	inHg
1 Pa =		0,01		0,102 mm			
1 hPa =	100	1		10,2 mm		0,750	0.02953
1 kPa =	1000	10	0,01	102 mm	0,145	7,50	0.2953
1 MPa =	1000 k		10	102 m	145	7500	295.3
1 bar =	100 k	1000		10,2 m	14,5	750	29.53
1 m H₂O =	9810	98,10			1,422	73,556	2.896
1 psi =	6895	68,95		0,703 m		51,715	2.036
1 mmHg =	133,3	1,333		13,6 mm			0.03937
1 inHg =	3386.4	33.864	0.033864	345.3 mm	0.491154	25.4	

(Werte teilweise gerundet)

3.1.4 Druckarten

«Relativdruck» bzw. «Absolutdruck» bezieht sich auf die zugrunde gelegte Referenz, also ob der Druck gegen den «Umgebungsdruck» (i. A. den Luftdruck) gemeint ist oder gegen «Absolutes Vakuum». Der selbe Druck erhält dann verschiedene Zahlenwerte, wie z. B. jeder der Drücke p_1 und p_2 in Abb. 22.

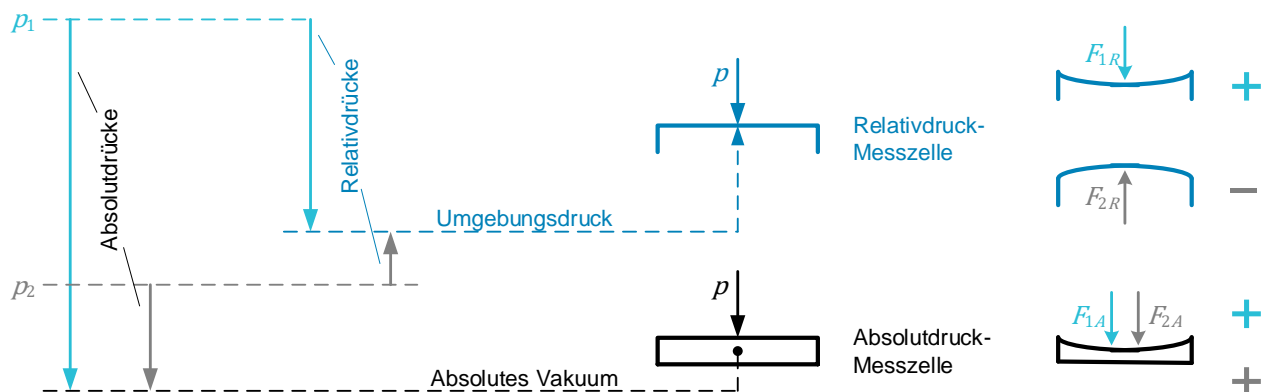


Abb. 22: Druckverhältnisse bei Relativdruck- und Absolutdruckmessung

Im «Baumer Leitfaden für Hydrostatische Füllstandsmessung» ist eine ausführliche Beschreibung zu diesem Thema enthalten.

3.1.5 Druckbereiche ausserhalb des Messbereichs

Begriffe welche die Druckbereiche ausserhalb des Messbereichs definieren sind:

Druckbereich	Auswirkung
Messbereich	Ausgabe des gemessenen Druckes innerhalb der Genauigkeitsspezifikation
Überlastbereich	Genauigkeitsspezifikation nicht mehr gültig, keine Schädigung
Zerstörbereich	Nicht reversible Schädigung

Für Relativdruck-Messzellen bei negativen Drücken:

Im Druckbereich unterhalb des Messbereichsanfangs kann ein Überlastbereich und Zerstörbereich vorhanden sein (siehe schraffierte Bereiche in Abb. 23).

Die Eigenschaft zur Eignung für negative Drücke nennt sich «Vakuumfestigkeit». In der Praxis können negative Drücke unbeabsichtigt bei einem plötzlichen Temperaturabfall vorkommen, z. B. beim Einbringen eines kalten Mediums in einen Tank.

Für Absolutdruck-Messzellen:

Der Druck kann niemals negative Werte (kleiner Null) annehmen. Unterhalb des Messbereichsanfangs von 0 bar absolut gibt es keinen Bereich.

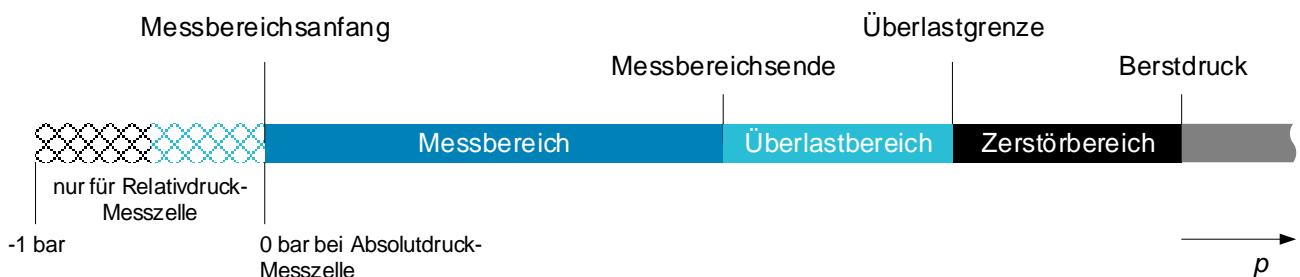


Abb. 23: Definition von Druckbereichen ausserhalb des Messbereichs

Die Abgrenzungen des Überlastbereichs und Zerstörbereichs sind die Überlastgrenze und der Berstdruck.

3.1.5.1 Überlastgrenze

Die Überlastgrenze ist der max. Druck, bei dem keine nicht-reversiblen Schäden bei Drucksensoren entstehen. Nach Überschreiten dieses Drucks ist ein Betrieb nicht mehr innerhalb der Spezifikation gewährleistet (z. B. Nichtlinearität, Nullpunktabweichung, etc.). Auch kurze Druckspitzen oberhalb der Überlastgrenze können zu bleibenden Abweichungen führen. Das Vorhandensein von Druckspitzen ist oft gar nicht bekannt oder deren Spitzenwert wird unterschätzt². Bei nicht zu vermeidendem «Wasserhammer» ist die max. Druckamplitude zu bestimmen und der Messbereich so zu wählen, dass Reserve zur Überlastgrenze besteht. Die interessierende Messspanne belegt dann nur einen Teil des Messbereichs des Drucksensors³.

² Es gibt Drucksensoren, die als Sekundärinformation eine Druckspitzenaufzeichnung beinhalten.

³ Wasserhammer sind grundsätzlich zu vermeiden, da sie die komplette Anlage beschädigen können. Sie treten bei schnellfließenden Medien bei abruptem Schliessen eines Ventils in Strömungsrichtung auf. Es gilt die Ursache abzustellen. Ansonsten wird der Drucksensor als das schwächste Glied in der Anlage zuerst beschädigt.

3.1.5.2 Berstdruck

Ein Druck oberhalb des Berstdrucks zerstört den Sensor dauerhaft. Er kann sowohl das Sensorelement beschädigen als auch einen Riss der Membrane herbeiführen. Dies birgt Gefahr durch austretendes Medium aus dem Prozess, wegen fehlender Dichtigkeit. Die genaue Kenntnis des max. vorkommenden Drucks sichert die richtige Auswahl eines Drucksensors.

Beispiel für die Angabe der Überlastgrenze und des Berstdruckes:

Messbereich (bar)				Überlastgrenze (bar)	Berstdruck (bar)
0 ... 0,1	0 ... 0,16	0 ... 0,25		1	2
0 ... 0,4	0 ... 0,6	0 ... 1		3	6
-0,1 ... 0,1	-0,2 ... 0,2	-1 ... 0	-1 ... 0,6		
0 ... 1,6	0 ... 2	0 ... 2,5	0 ... 4	15	30
-1 ... 1,5	-1 ... 3	-1 ... 5			
0 ... 6	0 ... 10	0 ... 16	0 ... 20	60	120
-1 ... 9	-1 ... 15				
0 ... 25				70	140
-1 ... 24					
0 ... 40				135	270
-1 ... 39					

3.1.6 Turn-Down

Ein Turn-Down verkleinert die Messspanne eines Drucksensors. Diese wirkt sich nur bei analoger Signalisierung aus, z. B. beim 4 ... 20 mA-Signal. Die Fehler der analogen Signalisierung durch Umwandeln zwischen analog und digital verkleinern sich, da sich die kleinere Messspanne auf den gleichen Signalbereich verteilt. Die Auflösung von Messwerten im Analogsignal verbessert sich.

Die Messabweichung der gemessenen Grösse des Sensors bezieht sich weiterhin auf dessen native Messspanne. Der absolute Messfehler (angegeben in der Einheit der Messgrösse) bleibt gleich. Der relative Messfehler (angegeben in Prozent) bezieht sich auf eine kleinere Messspanne und steigt im Verhältnis des Turn-Downs.

Beispiel für einen Turn-Down:

Messbereich	-1 ... 24 bar
Max. Messabweichung	0,5 % FS
Absolute Messabweichung	0,5 % × 25 bar = 0,125 bar
Ausgabebereichsgrenzen (Standard)	4 mA = -1 bar 20 mA = 24 bar
Max. Turn-Down-Verhältnis	5 : 1
Turn-Down gewählt	2,5 : 1 (< max. Turn-Down-Verhältnis)
Messbereich mit Turn-Down	-1 ... 9 bar
Messspanne mit Turn-Down	9 bar - (-1 bar) = 10 bar
Max. Messabweichung mit Turn-Down	0,125 bar ÷ 10 bar = 1,25 % FS
Ausgabebereich mit Turn-Down	4 mA = -1 bar 20 mA = 9 bar

Abb. 24 zeigt das Beispiel einer Kennlinie ohne und mit Turn-Down. Die deutlich grössere Steigung mit Turn-Down gibt bereits bei 9 bar ein Stromsignal von 20 mA aus.

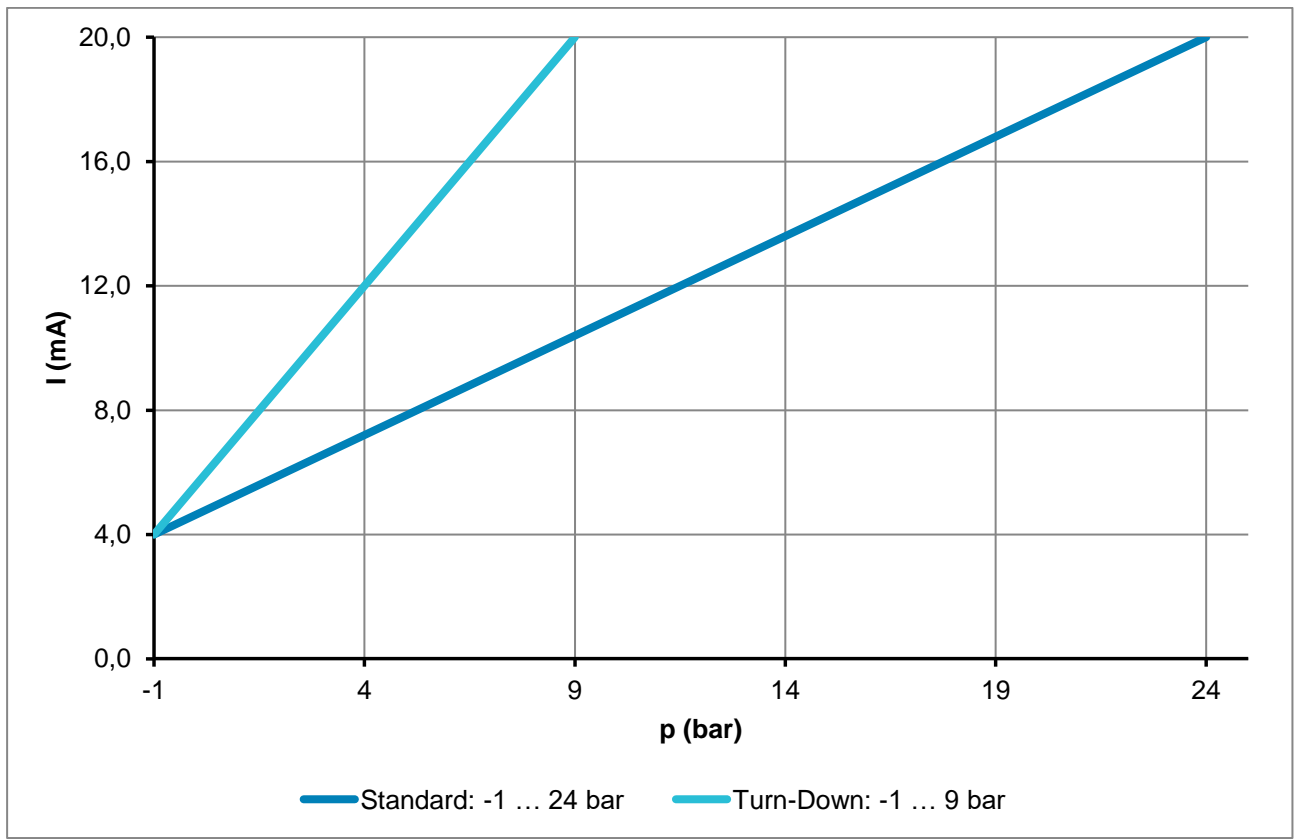


Abb. 24: Beispiel für die Kennlinie eines Drucksensors ohne und mit Turn-Down

3.1.7 Einfluss der Einbaulage

Durch das Gewicht der Membrane und Ölfüllung entsteht eine lageabhängige Drucküberlagerung abhängig von der Bauform in der Größenordnung bis zu einigen Millibar (bzw. einigen Zentimetern bei hydrostatischer Füllstandsmessung). Hochpräzise Drucksensoren ($\leq 0,25\%$) mit Messbereichen ≤ 2 bar zeigen einen relevanten Einfluss der Nullpunktabweichung durch die Einbaulage. Die manuelle Justierung des Offset-Parameter korrigiert diese systematische Abweichung. Der Werksabgleich korrigiert den Offset standardmässig für den Einbau von oben. Für die Einbaulagen seitlich und von unten addiert sich im Auslieferungszustand ein positiver Offset (siehe Abb. 25).

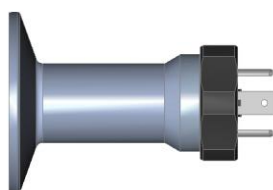
von oben (Werksabgleich)

seitlich

von unten



$$\Delta p_1 = 0$$



$$\Delta p_2 > 0$$



$$\Delta p_3 > \Delta p_2$$

Abb. 25: Drucküberlagerung bzw. Nullpunktabweichung bei verschiedenen Einbaulagen

3.2 Füllstandsmessung

Füllstandsmessungen ermitteln die Standhöhe der Oberfläche eines Mediums zu einem definierten Bezugspunkt. Die Umrechnung nach Volumen oder Gewicht liefert die in einem Behälter enthaltene Füllmenge.

3.2.1 Einheiten für Standhöhe

3.2.1.1 Meter

Der Meter, abgeleitet aus dem französischen «mètre», ist seit 1799 als neues «Urmeter» über die Länge eines Stabes aus Platiniridium definiert. Bereits 1791 gab es einen Beschluss für ein neues Längenmass, welches der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Pol zum Äquator auf einem bestimmten Längengrad sein sollte. In der Zwischenzeit entstand 1795 der erste Prototyp des Urmeters aus gegossenem Messing. Heute ist der Meter als SI-Basiseinheit mit dem Kurzzeichen «m» über die Lichtgeschwindigkeit definiert.

3.2.1.2 Fuss

Der Fuss hat seinen weit verbreiteten Ursprung in der Verwendung von Körpermassen als Längeneinheit, so wie «Handbreit» oder «Elle». Heute gültig ist der «englische Fuss» (ft) und die Unterteilung in 12 Inches (in):

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$$

3.2.2 Einheiten für Füllmengen

Die Füllmenge in einem Behälter leitet sich aus der Standhöhe und der Behältergeometrie ab. Das Volumen liefert mit der Information über die Dichte des Mediums die Masse (bzw. Gewicht).

Für einen rein zylindrischen Behälter besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Standhöhe und Volumen. Für ganz oder teilweise nicht senkrechte Behälterwände, z. B. bei Konus, Klöpperboden oder liegendem zylindrischen Tank, ist eine Umrechnungsfunktion oder eine Tabelle zu erstellen.

3.2.3 Hydrostatische Füllstandsmessung

Die Herleitung der Einheiten für die hydrostatische Füllstandsmessung finden sich im «Baumer Leitfaden für Hydrostatische Füllstandsmessung».

3.3 Durchflussmessung

3.3.1 Definition von Volumenstrom

Der Volumenstrom (auch Durchflussmenge oder Durchflussrate) gibt an wieviel Volumen einer Flüssigkeit oder eines Gases pro Zeitintervall durch eine Leitung fließt. So lange diese keine Abzweigungen hat geht nirgendwo Medium verloren oder kommt hinzu. Der Volumenstrom Q bleibt unabhängig vom Querschnitt A_x längs der Leitung gleich. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v_{Ax} variiert abhängig vom örtlichen Querschnitt der Leitung, siehe Abb. 26. Die sich punktuell über die Querschnittsflächen A_x einstellenden Strömungsprofile (laminar, turbulent) sind von vielen Faktoren abhängig und nicht Gegenstand dieser Beschreibung.

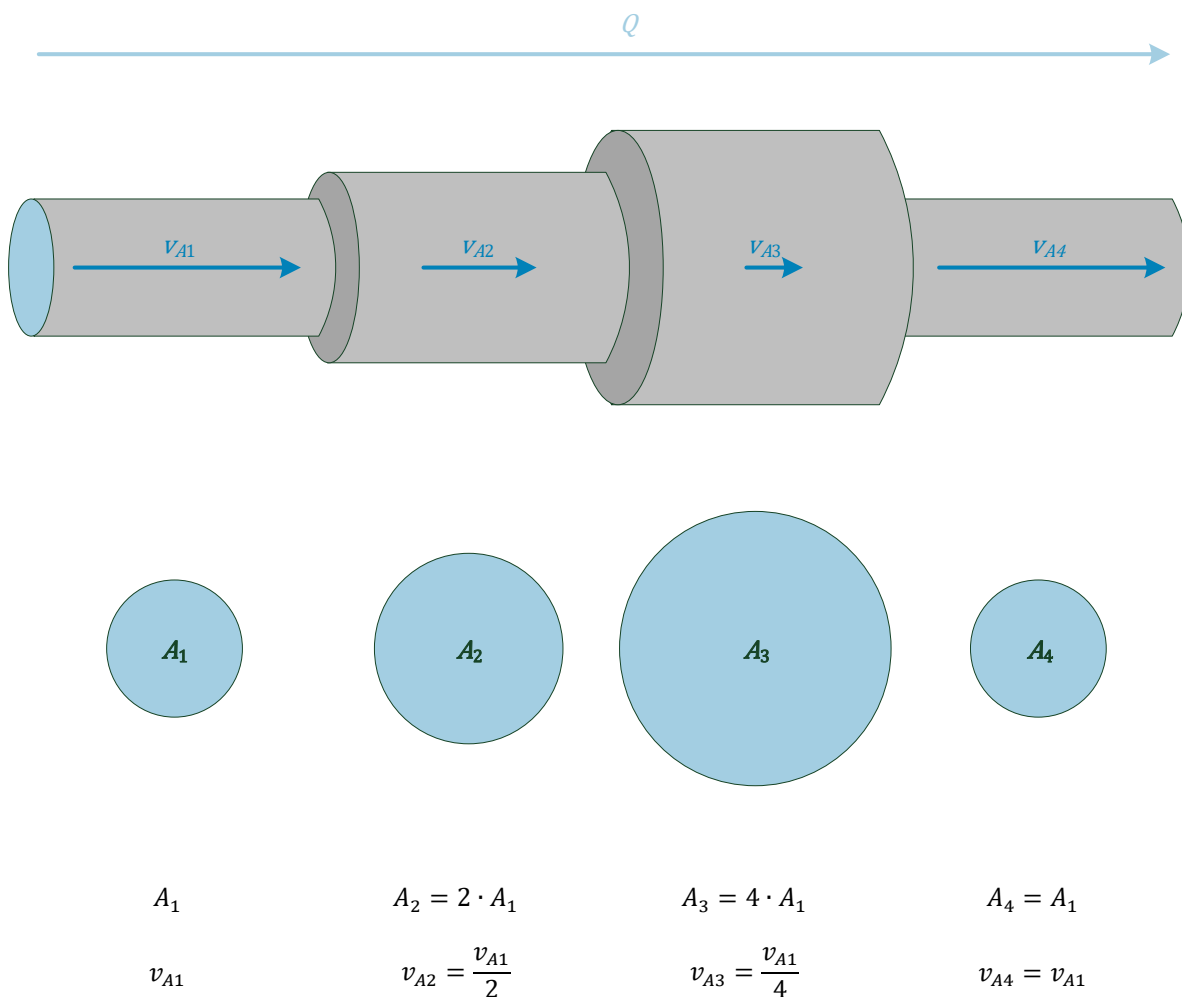


Abb. 26: Zusammenhang zwischen mittlerer Strömungsgeschwindigkeit und Leitungsquerschnitt

Die meisten gängigen Messprinzipien zur Durchflussmessung liefern als Rohsignal entweder eine punktuelle Strömungsgeschwindigkeit v_p oder eine über den Querschnitt gemittelte Strömungsgeschwindigkeit v_A . Unter Berücksichtigung des Leitungsquerschnitts A am Einbauort des Sensors kann dieser aus v_A den Volumenstrom Q berechnen und weiter durch zeitliche Integration das über einen Zeitabschnitt Δt durchgeflossene Volumen V .

$$Q = v_A \cdot A$$

$$V = Q \cdot \Delta t$$

3.3.2 Einheiten der Durchflussmessung

3.3.2.1 Strömungsgeschwindigkeit

Für die Strömungsgeschwindigkeit v gilt die gleiche SI-Einheit «Meter pro Sekunde» wie für normale Geschwindigkeitsmessungen, z. B. die eines Fahrzeugs:

$$[v] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.3.2.2 Volumenstrom

Für den Volumenstrom Q leitet sich aus den SI-Einheiten «Kubikmeter pro Sekunde» ab:

$$[Q] = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Für den Volumenstrom Q sind in der Praxis je nach den geförderten Mengen verschiedene weitere Einheiten gebräuchlich, z. B. für das Volumen Liter, Milliliter und für die Zeit Minute oder Stunde.

3.3.3 Umrechnungstabelle für Volumeneinheiten

	m ³ (Kubikmeter)	l, dm ³ (Liter)	ml, ccm (Milliliter)	imp gal (Gallone UK)	US gal (Gallone US)	ft ³ (Kubikfuss)	in ³ (Kubikzoll)
1 m ³ =		1000		219,97	264,172	35,3147	
1 dm ³ =	0,001		1000	0,212	0,26417	0,035315	61,024
1 ml =		0,001					0,061024
1 imp gal =		4,546	4546		1,2	0,1605	277,42
1 US gal =		3,7854	3785,4	0,8327		0,1337	231
1 ft ³ =	0,02832	28,317	28317	6,229	7,4806		1728
1 in ³ =		0,01639	16,387				

(Werte teilweise gerundet)

3.4 Leitfähigkeitsmessung

3.4.1 Definition von spezifischer Leitfähigkeit

Der elektrische Leitwert G ist der Kehrwert des elektrischen Widerstands R und damit das Verhältnis zwischen Strom I und Spannung U nach dem Ohm'schen Gesetz.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{U}{I}$$

Verschiedene Stoffe besitzen verschiedene spezifische Leitfähigkeiten γ . Ein in Längsrichtung durchflossener elektrischer Leiter hat den Leitwert:

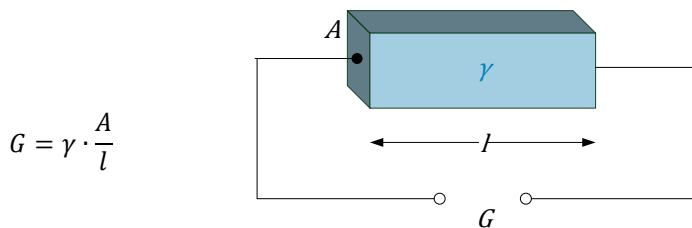


Abb. 27: Leitwert eines in Längsrichtung stromdurchflossenen elektrischen Leiters

Je grösser die spezifische Leitfähigkeit γ eines Stoffes, desto grösser ist sein Leitwert bei gleicher Form und Grösse. Eine Leitfähigkeits-Messzelle für Flüssigkeiten misst deren spezifischen Leitwert. Der Durchmesser und Abstand der Elektroden bestimmen die Empfindlichkeit der Messzelle, die sog. «Zellenkonstante». Kompakte Leitfähigkeitsmessgeräte berücksichtigen ihre Zellenkonstante selbst bei der Aufbereitung des Messwertes.

3.4.2 Einheiten für die spezifische Leitfähigkeit

Die Einheit des Leitwertes ist das «Siemens». Die Einheit der spezifischen Leitfähigkeit γ unter Einbeziehung der geometrischen Abmessungen Fläche A und Länge l ist «Siemens pro Meter»:

$$[\gamma] = 1 \frac{\text{S}}{\text{m}} = 0,01 \frac{\text{S}}{\text{cm}} = 10 \frac{\text{mS}}{\text{cm}}$$

3.4.3 Umrechnungstabelle von Leitfähigkeitswerten

	S/m	mS/m	$\mu\text{S/m}$	S/cm	mS/cm	$\mu\text{S/cm}$
1 S/m =		1000		0,01	10	
1 mS/m =	0,001		1000		0,01	10
1 $\mu\text{S/m}$ =		0,001				0,01
1 S/cm =	100				1000	
1 mS/cm =	0,1	100		0,001		1000
1 $\mu\text{S/cm}$ =		0,1	100		0,001	

3.4.4 Temperaturkompensation

Die Leitfähigkeit jeder Flüssigkeit hängt physikalisch von der Temperatur ab. Sie nimmt für die meisten wässrigen Lösungen mit +2 %/K zu. Um Messungen zu vergleichen rechnen Messgeräte die direkt ermittelte Leitfähigkeit auf eine Referenztemperatur zurück. Diese wird meistens auf 25 °C festgelegt. Neben deren Einstellung erlauben die Messgeräte auch die Eingabe eines Temperaturkoeffizienten in %/K. Dieser ist auf 0 %/K zu setzen falls auf die Temperaturkompensation verzichtet werden soll.

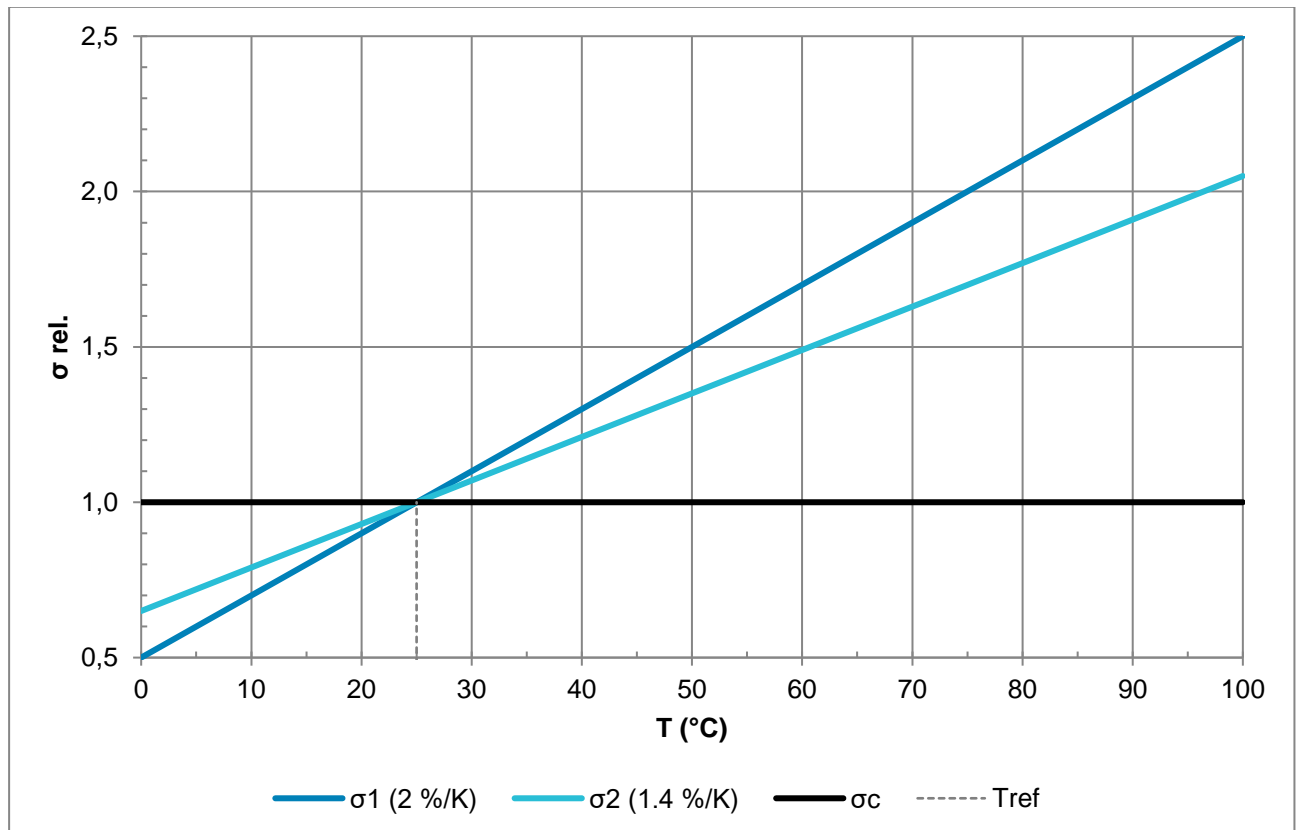


Abb. 28: Temperaturkompensation am Beispiel zweier verschiedener Temperaturkoeffizienten

Das Beispiel in Abb. 28 verdeutlicht den Zusammenhang anhand einer normierten Skalierung mit dem Faktor 1,0 bei einer Temperatur von 25 °C. Die Flüssigkeit mit der Leitfähigkeit σ_1 hat einen Temperaturkoeffizienten TK von 2 %/K. Die Leitfähigkeit bei der Referenztemperatur T_{ref} beträgt normiert den Faktor 1,0. Erhöht man die Temperatur um 50 K auf 75 °C verdoppelt sich die Leitfähigkeit:

$$\Delta T = T - T_{ref} = 75 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 50 \text{ K}$$

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_{T_{ref}}} = 1 + TK \cdot \Delta T = 1 + 2 \text{ %/K} \cdot 50 \text{ K} = 1 + 100 \text{ \%} = 2,0$$

Bei 0 °C reduziert sich die Leitfähigkeit auf die Hälfte:

$$\Delta T = T - T_{ref} = 0 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = -25 \text{ K}$$

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_{T_{ref}}} = 1 + TK \cdot \Delta T = 1 + 2 \text{ %/K} \cdot (-25) \text{ K} = 1 - 50 \text{ \%} = 0,5$$

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, kompensiert das Messgerät die gemessene Leitfähigkeit für die Ausgabe immer so als wäre die Temperatur T_{ref} , i. d. R. 25 °C. Damit ergibt sich die Charakteristik σc in Abb. 28 als temperaturkompensierte Angabe der Leitfähigkeit.

Für die Bestimmung der Flüssigkeitstemperatur haben Leitfähigkeitssensoren einen Temperaturfühler integriert. Für dessen Spezifikation gilt ebenso Abschnitt 3.5.4.

3.4.5 Leitfähigkeiten von verschiedenen Medien

Medium	Leitfähigkeit	Bemerkung
Reines Wasser	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$	nur unter Luftabschluss möglich
Reinstwasser	$\leq 1,1 \mu\text{S}/\text{cm}$	nach Europäischem Arzneibuch
Destilliertes Wasser	0,5 ... 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$	durch Verdampfen gewonnen
Trinkwasser	$\leq 2790 \mu\text{S}/\text{cm}$	Deutsche Trinkwasserverordnung
Bier	1,2 ... 2,3 mS/cm	
Milch 3,5 % Fett	4 ... 6 mS/cm	Messung der Eutergesundheit möglich
Meerwasser	56 mS/cm	
Natronlauge (NaOH) 5 %	223 mS/cm	

Angaben bezogen auf $T_{ref} = 25 \text{ °C}$

Die Leitfähigkeit ist abhängig von der Konzentration. Abb. 29 zeigt dies am Beispiel von Natronlauge (NaOH). Die Leitfähigkeit nimmt ab einer bestimmten Konzentration wieder ab. Jedes Medium besitzt seine charakteristische Eigenschaft.

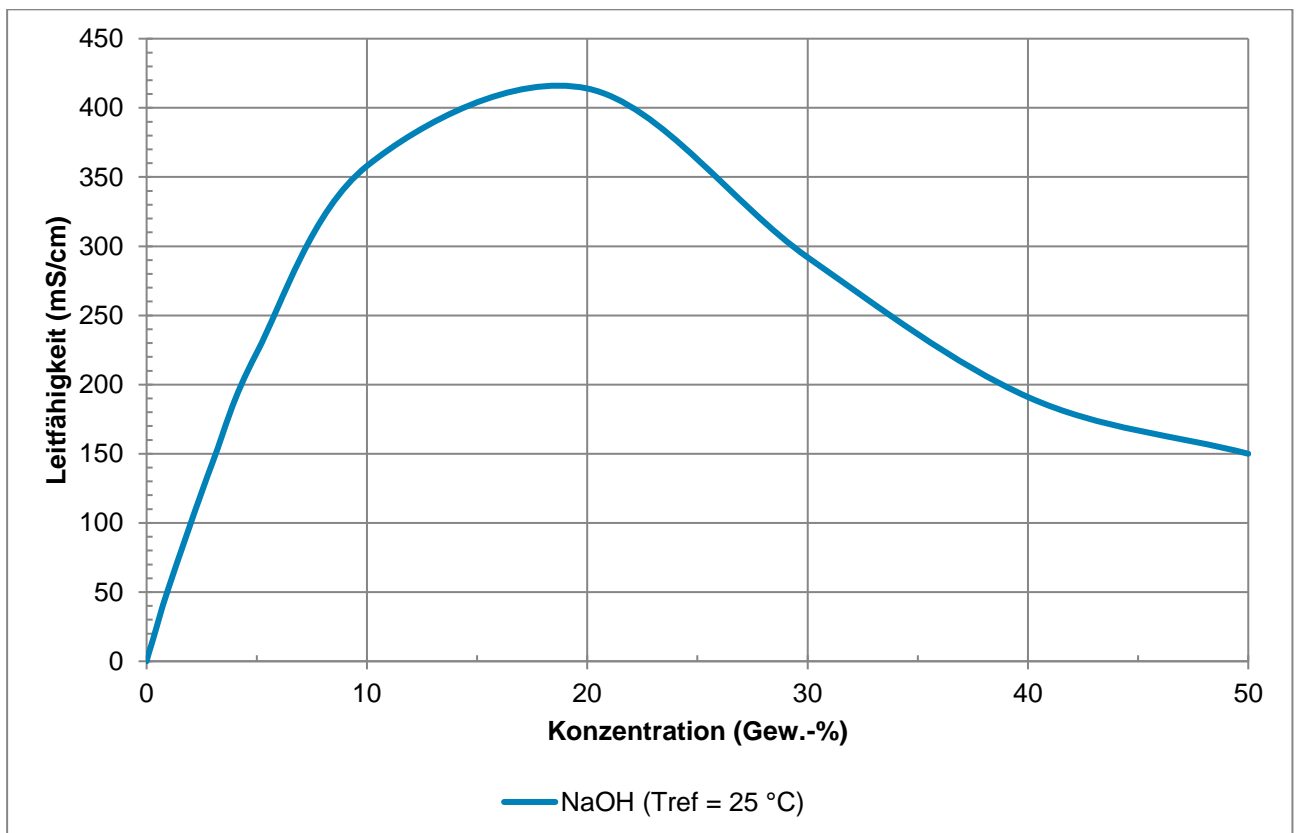


Abb. 29: Leitfähigkeit von Natronlauge (NaOH) in Abhängigkeit der Konzentration



3.5 Temperaturmessung

3.5.1 Definition von Temperatur

Die Temperatur (abgeleitet vom griechischen Wort «thérmis» = warm) ist eine physikalische Zustandsgrösse. Sie beschreibt das Mass für Wärme und damit den Energieanteil durch die ungeordnete Bewegung von Teilchen (Atome bzw. Moleküle).

3.5.2 Einheiten für Temperatur

3.5.2.1 Grad Celsius

Die Celsius-Skala geht zurück auf den schwedischen Astronomen Anders Celsius (1701 – 1744). Der Gefrierpunkt und die Siedetemperatur von Wasser bei Normalluftdruck definieren die Skala. Diese Grenzen legen heute den Bereich von 0 °C bis 100 °C fest (nachdem Celsius die Skala damals umgekehrt definiert hatte).

3.5.2.2 Grad Fahrenheit

Der deutsche Physiker Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736) wollte negative Temperaturwerte vermeiden und legte den untersten Punkt 0 °F mit einer Lösung aus Eis, Wasser und Ammoniumchlorid fest. Diese Nachbildung erzeugt die tiefste Temperatur von -17,8 °C die er in seiner Heimatstadt Danzig im Winter 1708 – 1709 messen konnte. Den zweiten Punkt hat Fahrenheit mit 32 °F beim Gefrierpunkt von reinem Wasser definiert. Der dritte Punkt sollte die durchschnittliche Körpertemperatur eines Menschen sein, seiner Wahl nach 96 °F. Später wurde der Siedepunkt von Wasser mit exakt 212 °F festgelegt; damit entspricht ein Bereich von 180 °F genau einer Differenz von 100 °C. Früher hat die Fahrenheit-Skala ganz Europa verwendet, heute überwiegend nur noch USA und teilweise Kanada.

3.5.2.3 Kelvin

Das Kelvin definiert als untere Grenze 0 K den absoluten Nullpunkt, also die tiefste Temperatur die theoretisch physikalisch existiert, entsprechend -273,15 °C. Bei dieser Temperatur ist die Energie der ungeordneten Teilchenbewegung gleich Null. Bei der Kelvin-Skala entspricht eine Differenz von 1 K genau einer Differenz von 1 °C auf der Celsius-Skala. Das Kelvin ist heute die SI-Einheit der Temperatur und geläufig in technischen und naturwissenschaftlichen Bereichen. Die Angaben von Temperaturdifferenzen, wie z. B. bei Genauigkeitsangaben von Temperatursensoren, verwenden vorzugsweise das Kelvin.

3.5.2.4 Temperatur-Einheiten-Umrechnungen

$$t[°F] = T[°C] \cdot 1,8 + 32 \quad t[°C] = (t[°F] - 32) \cdot \frac{5}{9} \quad \text{Faustformel } °F \text{ nach } °C: \text{ ziehe 30 ab und halbiere}$$

$$T[K] = t[°C] - 273,15 \quad t[°C] = T[K] + 273,15$$

3.5.3 Umrechnungstabelle °C / °F

°C	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
°F	-40	-22	-4	14	32	50	68	86	104	122	140	158	176	194	212	230	248	266	284	302	320	338	356	374	392
		-20	0	-10	20	40	60	80	100	120	130	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	330	340	360	380
°C	-29	-18	-23	-7	4	16	27	38	49	54	60	71	82	93	104	116	127	138	149	160	166	171	182	193	204

(Werte teilweise gerundet)

3.5.4 Thermische Ansprechzeit von Temperatursensoren

Die thermische Ansprechzeit ist durch die thermische Trägheit bedingt. In erster Näherung folgt der Anstieg auf eine Sprunganregung einer e-Funktion. Ihre Zeitkonstante T_{63} charakterisiert das Verhalten mit Angabe nur eines Zeitwertes. Bei diesem erreicht die Funktion 63 % der Sprunganregungs-Amplitude. Die alternativen Angaben T_{50} und T_{90} lassen sich über konstante Faktoren ineinander umrechnen. Für eine vorhandene Angabe geht man in der nachstehenden Tabelle in die entsprechende Zeile und kann die Faktoren für andere Zeitkonstanten bzw. Ansprechzeiten in den jeweiligen Spalten ablesen. Als Beispiel sei T_{90} mit 7 s angenommen: Der T_{50} -Wert mit 2,1 s ist um den Faktor 0,301 geringer.

Tabelle zum Umrechnen von Ansprechzeiten:

	T50	T63	T90	T99
T50	1	1,443	3,32	6,64
T63	0,693	1	2,303	4,61
T90	0,301	0,434	1	2,00
T99	0,151	0,217	0,50	1

Die Amplitude der Sprunganregung ist die Differenz der Anregung zwischen nach und vor dem Sprung. Sie kann ein beliebiges absolutes Mass haben (z. B. 10 K). Abb. 30 zeigt die Amplitude mit einer Normierung auf 100 %.

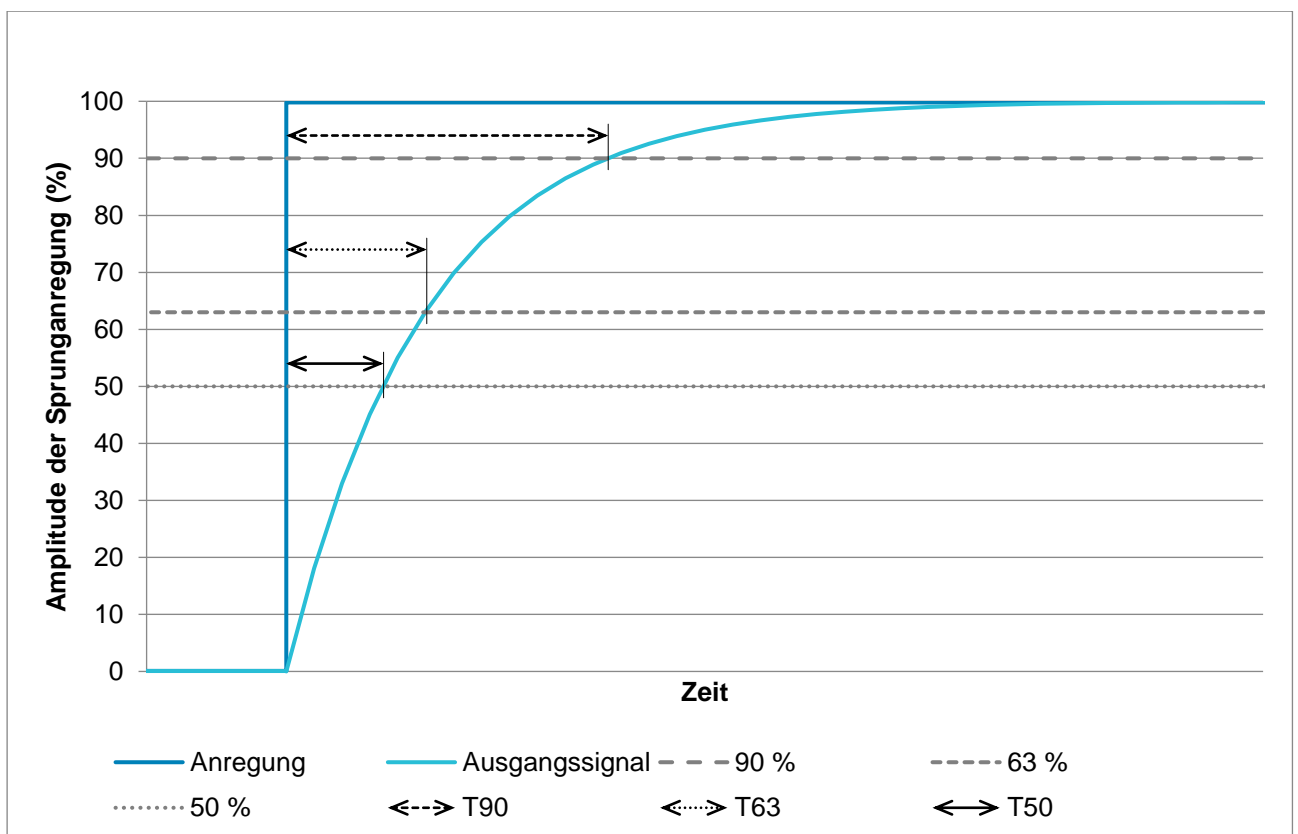


Abb. 30: Definition der Zeitkonstante T_{63} und der Ansprechzeiten T_{50} und T_{90}



4 Anhang

4.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prinzipschaltbild der Messkette eines Sensors4

Abb. 2: Schema einer digitalen Sensor-Signalverarbeitung mit Analog- oder Digitalausgang5

Abb. 3: Beispiel eines Kalibrierprotokolls für einen Drucksensor6

Abb. 4: Beispiel einer Siebensegment-LED-Anzeige anhand eines Drucksensors7

Abb. 5: Beispiele flexibler Anzeigeeinhalte eines LCDs mit Punktmatrix und Hintergrundbeleuchtung8

Abb. 6: Beispiele von robusten Bedienelementen ohne Gehäuseöffnungen8

Abb. 7: Ergebnis eines Messdurchlaufes zur Bestimmung der Messabweichung10

Abb. 8: Definition von Nullpunktabweichung, Endwertabweichung und Spannefehler11

Abb. 9: Ermittlung der Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung12

Abb. 10: Ermittlung der Nichtlinearität nach Kleinstwerteinstellung (BFSL)12

Abb. 11: Definition der Hysterese13

Abb. 12: Angabe der max. Messabweichung14

Abb. 13: Beispiel von max. Messabweichungen versch. Sensortypen über der Sensortemperatur16

Abb. 14: Definition von Totzeit, Anstiegszeit und Sprungantwortzeit18

Abb. 15: Prozesstemperatur in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und Betriebsspannung19

Abb. 16: Beispiel eines hygienischen Prozessanschlusses auf einem Rohr (Schnittbild)20

Abb. 17: Beispiele von verschiedenen Anschlussvarianten eines Drucksensors21

Abb. 18: Stromschleife mit einem passiven Stromschleifensensor und einem Stromschleifengerät25

Abb. 19: Beispiel für die Konfiguration des Ausgangssignals eines Drucksensors25

Abb. 20: Beispiel verschiedener Gehäusevarianten eines Drucksensors29

Abb. 21: Veranschaulichung der Druckabhängigkeit von der Auflagefläche37

Abb. 22: Druckverhältnisse bei Relativdruck- und Absolutdruckmessung39

Abb. 23: Definition von Druckbereichen ausserhalb des Messbereichs40

Abb. 24: Beispiel für die Kennlinie eines Drucksensors ohne und mit Turn-Down42

Abb. 25: Drucküberlagerung bzw. Nullpunktabweichung bei verschiedenen Einbaulagen42

Abb. 26: Zusammenhang zwischen mittlerer Strömungsgeschwindigkeit und Leitungsquerschnitt44

Abb. 27: Leitwert eines in Längsrichtung stromdurchflossenen elektrischen Leiters46

Abb. 28: Temperaturkompensation am Beispiel zweier verschiedener Temperaturkoeffizienten47

Abb. 29: Leitfähigkeit von Natronlauge (NaOH) in Abhängigkeit der Konzentration48

Abb. 30: Definition der Zeitkonstante T63 und der Ansprechzeiten T50 und T9050

4.2 Stichwortverzeichnis

Begriffsdefinition	Abschnitt	Seite
Abnahmeprüfzeugnis 3.1 «Typ 3.1»	2.14.3	36
Anregung des Sensorelements	1.1.2	4
Anschlussvarianten	2.3.1	20
Ansprechzeit	2.1.11	18
Anstiegszeit	2.1.9	17
Arbeitstemperaturbereich	2.5.1	22
Ausgabebereich	2.1.4	9
Ausgangssignal	2.6	24
Auswertung von Sensorsignalen	1.1.5	5
Bahnanwendungen	2.13.6	35
Bedienelemente	1.4.3	8
Benutzerschnittstellen	1.4	7
Betriebsspannungsbereich	2.10.1	30
CE (Conformité Européenne)	2.13.1	32
Definition von Druck	3.1.1	37
Definition von spezifischer Leitfähigkeit	3.4.1	47
Definition von Temperatur	3.5.1	50
Definition von Volumenstrom	3.3.1	45
Display	1.4.2	7
Druckarten	3.1.4	39
Druckbereiche ausserhalb des Messbereichs	3.1.5	40
Druckmessung	3.1	37
Durchflussmessung	3.3	45
Eigensicherheit (Ex i)	2.12.1	31
Eignung für CIP/SIP	2.2.3	20
Einfluss der Einbaulage	3.1.7	42
Einheiten der Durchflussmessung	3.3.2	46
Einheiten für die spezifische Leitfähigkeit	3.4.2	47
Einheiten für Druck	3.1.2	37
Einheiten für Füllmengen	3.2.2	43
Einheiten für Standhöhe	3.2.1	43
Einheiten für Temperatur	3.5.2	50
Elektrischer Anschluss	2.9	29
EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)	2.13.2	32
Erhöhte Sicherheit (Ex ec)	2.12.4	31
Explosionsschutz	2.12	31
Full-Scale (FS)	2.1.3	9
Füllstandsmessung	3.2	43
Gehäuse	2.8	29
HART® Schnittstelle	2.7.2	28
Hochlaufzeit	2.10.4	30
Hydrostatische Füllstandsmessung	3.2.3	43
Indikationsanzeige	1.4.1	7

IO-Link Schnittstelle	2.7.1	27
Isolationswiderstand	2.5.6	24
Justieren	1.3.2	7
Kalibrierdokumente	2.15	36
Kalibrieren	1.3.1	6
Kalibrier-Protokoll	2.15.1	36
Kalibrier-Zertifikat	2.15.2	36
Konformität und Zulassungen	2.13	32
Lagertemperaturbereich	2.5.2	22
Langzeitdrift	2.1.7	17
Lebensmittel und Getränke	2.13.4	34
Leistungsmerkmale	2.1	9
Leitfähigkeiten von verschiedenen Medien	3.4.5	49
Leitfähigkeitsmessung	3.4	47
Luftfeuchtigkeit	2.5.4	23
Maritime	2.13.5	35
Merkmale von Sensoren	1	4
Messabweichung	2.1.5	10
Messbereich	2.1.1	9
Messgrösse	1.1.1	4
Messkette	1.1	4
Messspanne	2.1.2	9
Messwert	1.1.3	4
Nichtfunkendes Betriebsmittel (Ex nA)	2.12.3	31
Oberflächenrauheit (in Kontakt mit Medium)	2.4	21
Prozessanschluss	2.3	20
Prozessbedingungen	2.2	18
Prozessberührendes Material	2.3.2	21
Prozessdruck	2.2.2	19
Prozesstemperatur	2.2.1	18
Prüf- und Abgleichvorgänge	1.3	6
Prüfbescheinigungen	2.14	36
Schaltausgang	2.6.3	26
Schnittstellen	2.7	27
Schutz durch Gehäuse (Ex t)	2.12.2	31
Schutzart	2.5.3	22
Sensor-Signalverarbeitung	1.2	5
Sicherheit	2.13.3	33
Spannungsausgang	2.6.2	26
Speisung	2.10	30
Spezifische Definitionen von Messtechnologien	3	37
Sprungantwortzeit	2.1.10	17
Stromaufnahme	2.10.2	30
Stromausgang	2.6.1	24
Technische Daten von Sensoren	2	9
Temperaturdrift	2.1.6	15
Temperaturkompensation	3.4.4	48

Temperaturmessung	3.5	50
Thermische Ansprechzeit von Temperatursensoren	3.5.4	51
Totzeit	2.1.8	17
Turn-Down	3.1.6	41
Übermittlung des Messwertes	1.1.4	4
Umgebungsbedingungen	2.5	22
Umgebungseinflüsse	2.5.5	24
Umrechnungstabelle °C / °F	3.5.3	50
Umrechnungstabelle für Druckeinheiten	3.1.3	39
Umrechnungstabelle für Volumeneinheiten	3.3.3	46
Umrechnungstabelle von Leitfähigkeitswerten	3.4.3	47
Verpolungsschutz	2.10.3	30
Werksbescheinigung «Typ 2.1»	2.14.1	36
Werkseinstellungen	2.11	31
Werkzeugnis «Typ 2.2»	2.14.2	36

4.3 Weiterführende Literatur

4.3.1 «Baumer Leitfaden für Hydrostatische Füllstandsmessung»

Dieses Dokument beschreibt die Funktionsweise der hydrostatischen Füllstandsmessung, also die Verwendung von Drucksensoren um den kontinuierlichen Füllstand in einem Behälter zu bestimmen. Es soll das Verständnis für diese Messmethode vertiefen und dem Anwender die Prüfung auf Eignung in seiner Applikation geben. Weiter kann er damit die richtige Auswahl der passenden Sensoren und Messbereiche treffen. Des Weiteren wird auf die erreichbare Genauigkeit unter bestimmten Voraussetzungen eingegangen und Hinweise zur Auswertung der Messsignale gegeben. Ein Anhang mit der theoretischen Herleitung der verwendeten Variablen und Formeln erlaubt bei Bedarf sich noch detaillierter mit der Materie auseinanderzusetzen.

Weblinks: [DE](#), [EN](#)

4.3.2 «Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen»

Dieses Dokument beschreibt die Funktionsweise der aktiven analogen Sensor-Schnittstellen wie Strom- und Spannungssignalisierung. Es soll eine Unterstützung für die Auswahl der jeweilig am besten geeigneten analogen Sensor-Schnittstelle und deren Implementierung geben.

Weblinks: [DE](#), [EN](#)

4.3.3 «Baumer Leitfaden für Schaltausgänge»

Dieses Dokument beschreibt die Funktionsweise von Schaltausgängen, wie z. B. PNP oder NPN. Es soll eine Unterstützung für die richtige Auswahl, Parametrierung und Implementierung von Sensoren mit binären Signalen geben.

Weblinks: [DE](#), [EN](#)

4.3.4 «Baumer Leitfaden für Explosionsschutz»

Dieses Dokument enthält Empfehlungen für ATEX-Installationen von entsprechenden Baumer-Sensoren.

Weblinks: [DE](#), [EN](#)

4.3.5 «Publikationen zu IO-Link»

Im IODDfinder stehen normalerweise die IODDs aller Hersteller als Download zur Verfügung.

Weblinks: DE <https://io-link.com/de/IODDfinder/IODDfinder.php>
 EN <https://io-link.com/en/IODDfinder/IODDfinder.php>

Ausführliche Details zu IO-Link sind im Dokument «IO-Link Systembeschreibung» und weiteren Publikationen des IO-Link Konsortiums enthalten.

Weblinks: DE <https://io-link.com/de/Download/Download.php>
 EN <https://io-link.com/en/Download/Download.php>

4.3.6 «Publikationen zu HART®»

Entsprechende Informationen entnehmen Sie bitte den Seiten der «FieldComm Group».

Weblink: EN <https://www.fieldcommgroup.org/>

4.4 Dokumentations-Historie

Version	Datum	Überprüft	Änderung / Ergänzung / Beschreibung
V1.00	12.01.2021	fep	Initialdokument
V1.10	01.03.2021	sonp	Figure 4 removed

